

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н. А. КОЗЫРЕВ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ



ЛЕНИНГРАД
ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1991

Редакторы А. И. Кузьмина, Т. Ф. Шпагина

Рецензенты: акад. *А. Д. Александров* (Ленингр. отд-ние Мат. ин-та им. В. А. Стеклова АН СССР); акад. В. А. *Амбарцумян* (президент АН Армянской ССР)

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета

УДК 530.1+115+122

Козырев Н. А.

Избранные труды/Составители А. Н. Дадаев, Л. С. Шихобалов.— Л.: Издательство Ленинградского университета.
1991. 448 с. ISBN 5-288-00626-1

В сборник включены наиболее важные работы Н. А. Козырева по теоретической астрофизике, наблюдательной астрономии и теории физических свойств времени. Книга будет интересна как специалистам: астрономам, механикам, физикам, философам, так и всем читателям, которых волнует история и современные проблемы астрономии и физики.

Издание осуществлено совместно с Северо-Западным научно-производственным центром «Корунд»

К $\frac{1605040000\text{-}139}{076\ (02)\text{-}91}$ Без объявл.

ISBN 5-288-00626-1

ПРЕДИСЛОВИЕ

Николай Александрович Козырев — известный астроном-астрофизик, начавший свою научную деятельность еще в студенческие годы в составе инициативной группы физиков и астрономов Ленинградского университета, ставших впоследствии крупными учеными с мировой известностью (Г. А. Гамов, Л. Д. Ландау, В. А. Амбарцумян и другие). По окончании университета в 1928 г. Н. А. Козырев поступил в аспирантуру Главной астрономической обсерватории (Пулковской), связав с ней свою деятельность до последних дней жизни. Значительная часть его ранних работ выполнена в содружестве с В. А. Амбарцумяном, ровесником и однокурсником по университету. Их объединял общий интерес к проблемам теоретической астрофизики и особенно опыт применения теории к истолкованию астрономических и геофизических наблюдений. Сотрудничество молодых ученых оборвалось в ноябре 1936 г.

Более десяти лет Н. А. Козырев оставался оторванным от непосредственной научной деятельности. Он прошел через кошмары тюремного заключения и лагерной жизни. Содействие ряда московских и ленинградских ученых помогло ему вырваться из Норильской ссылки в конце декабря 1946 г. По возвращении к научным занятиям Н. А. Козырев полностью вступил на самостоятельный путь исследований, выдвинув оригинальную теорию неядерных источников звездной энергии, мысленную проработку которой он начал в годы тюрьмы и ссылки.

Эта теория привела его к изучению физических свойств времени и к установлению связи между временем и энергией, проявляющейся во всех небесных телах, больших и малых, и происходящей вследствие постоянного действия универсального «низкотемпературного источника». Свои теоретические исследования он старался подкрепить астрономическими наблюдениями и лабораторным экспериментом. Так возникла «теория времени Козырева», впервые изложенная им в небольшой книге «Причинная

или несимметричная механика в линейном приближении», изданной летом 1958 г. ротапринтным способом.

Совершенное Н. А. Козыревым в ноябре 1958 г. открытие лунного вулканизма, как ни удивительно, связано с его «теорией времени». Обнаружение тектонической деятельности малых тел солнечной системы — результат целенаправленных наблюдений, продолжавшихся в течение ряда лет и заключавшихся в поисках проявлений внутренней энергии таких тел. Целенаправленность работ Козырева можно проследить по содержанию статей, опубликованных после 1947 г. и частично помещенных в настоящем сборнике. Почти все они, прямо или косвенно, подчинены либо обоснованию и развитию идей автора, либо подтверждению выводов его теории.

Сборник включает разделы, к которым условно отнесены наиболее важные работы Н. А. Козырева: теоретическая астрофизика, наблюдательная астрономия, причинная механика. Это направления деятельности ученого или — лучше сказать — области зарождения и применения его идей. Для того чтобы проследовать за эволюцией основной идеи — теории времени, помещенные в сборнике статьи целесообразно изучать в хронологическом порядке их написания. При этом Н. А. Козырев будет выступать уже не столько как астроном, сколько как основатель новой теории и естествоиспытатель, проникающий в тайны необъятной Вселенной, ищущий «четвертое начало термодинамики», созидающее, а не разрушающее. Не случайно он переходит от исследования звездных недр к изучению процессов Жизни, которые демонстрируют неподчинение разрушающему закону возрастания энтропии.

Публикации Козырева вызвали в свое время большой резонанс среди научной общественности в нашей стране и за границей. По существу обсуждение началось с опубликования его докторской диссертации, посвященной поискам неядерных источников звездной энергии (1948—1951 гг.). Но этот труд могли обсуждать только специалисты. Значительно более популярной и многосторонней, охватывающей широкий круг проблем физики, геофизики, планетоведения, космогонии и космологии, стала его книга «Причинная или несимметричная механика...» Она и вызвала разнообразные дискуссии, поток сообщений в прессе, многочисленные статьи в общедоступных и специализированных журналах. Иногда дискуссии разгорались на лекциях самого Козырева, который был блестящим оратором и привлекал широкую аудиторию, хотя для выступлений ему не всегда предоставлялась возможность: его идеи считались противоречащими официальной науке. Впрочем он умел отбиваться и отстаивать собственную позицию.

Статьи, отражающие взгляды Козырева, систематически появляются в печати и после его смерти. Эти статьи большей частью пересказывают публикации Н. А. Козырева, но немало

и искажают их. Во избежание искажений, но главным образом для дальнейшего использования наследия оригинального ученого предпринято переиздание основных его трудов.

Подбор статей, составляющих сборник, предварительно был согласован с рецензентами — академиками А. Д. Александровым и В. А. Амбарцумяном. Издание сборника рекомендовано Ленинградской кафедрой философии Академии наук СССР (заведующий кафедрой профессор В. Д. Комаров). Содержание раздела «Причинная механика» обсуждено членами Национального комитета СССР по теоретической и прикладной механике А. А. Вакуленко, Н. Ф. Морозовым, Э. Л. Аэро, представившими редакции свой отзыв. Из-за ограниченности объема в сборник не вошли некоторые работы последних лет, но они опубликованы сравнительно недавно (преимущественно в серийном издании «Проблемы исследования Вселенной») и более доступны изучению, чем ранние статьи, разбросанные по разным специализированным изданиям крайне ограниченного тиража.

При настоящем издании статей Козырева внесены только исправления опечаток в прежних публикациях. Сверка с рукописями была затруднена из-за утраты большей части их. Буквенные обозначения физических величин не изменялись, хотя они и отличаются от общепринятых теперь (некоторые из публикуемых ныне статей первоначально увидели свет около 60 лет назад). Сокращенное обозначение физических единиц в ряде случаев исправлено в соответствии с современными требованиями. Исключение составляет температура в ранних статьях, так как ее значения приводились автором без указания шкалы измерения.

В публикуемых статьях опущены резюме на английском языке. Статьи, напечатанные в иностранных изданиях, переведены на русский язык. Место первой публикации указано в сноске на странице, открывающей данную статью.

Указатели литературы, использованной автором, оформлены в соответствии с современными требованиями ГОСТа. Те же требования учтены при составлении общего списка трудов Н. А. Козырева, даваемого в конце сборника. Статьи, вошедшие в настоящий сборник, отмечены звездочкой (*) в постатейных указателях литературы и общем списке трудов.

Кроме лиц и организаций, названных выше, а также указанных на титульном листе и в выходных данных настоящего издания, редакция считает необходимым отметить участие в публикации сборника: А. А. Ефимова (ГАО АН СССР, Пулково), Д. Н. и Ф. Н. Козыревых, Н. Н. Казанского (сыновей Н. А. Козырева), В. В. Орлова (ЛГУ), Н. Д. Шихобаловой, В. А. Швецовой, Научно-технического центра «Перспектива» (г. Киев, руководитель О. Г. Бахтияров).

Издание финансировано Северо-Западным научно-производственным центром «Корунд» (директор А. А. Орлов).

А. Н. Дадаев

НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КОЗЫРЕВ

Среди изве́стных астрономов нашего времени, пожалуй, нет имени более популярного и более загадочного, чем имя профессора Козырева. На протяжении более тридцати лет оно не сходит со страниц научной печати, научно-популярных изданий, журналов и газет. Все началось со споров по поводу обнаружения Н. А. Козыревым тектонической активности Луны в ноябре 1958 г. Серьезные дискуссии продолжались одиннадцать лет и закончились все же официальным присуждением первооткрывателю диплома об открытии.

Можно назвать две причины, которые возбудили продолжительные споры и долгое непризнание несомненного достижения. Первая — это убежденность, укреплявшаяся среди ученых многими десятилетиями и даже столетиями тщательных наблюдений,— убежденность в том, что «Луна — мертвое тело». Вторая — более основательная — связана с работами самого Н. А. Козырева по поискам новых видов энергии. Как раз в 1958 г., незадолго перед открытием лунного вулканизма, он возвестил печатным словом о поисках неизвестных доныне источников энергии, проводившихся им уже свыше десяти лет. Свое открытие он считал доказательством собственной теории, позволившей ему целенаправленно ставить наблюдения. В общем, он настойчиво и уверенно шел к открытию и пришел к нему.

Откуда взялась такая уверенность? Еще в 1947 г. Козырев теоретически показал, что внутризвездные ядерные реакции не могут обеспечить расход энергии звездами за миллиарды лет их существования. В недрах планет (и Луны) не могут происходить ядерные реакции. Этот вывод никем не оспаривается. Однако любые запасы внутренней энергии, образовавшиеся при формировании такого тела, как Луна (включая запасы радиоактивных элементов), должны иссякнуть за 4—5 млрд лет его существования. Вот почему Луна должна быть мертвой, чего не хотел

признавать Козырев. Согласно его теории, небесные тела (и планеты, и звезды) представляют собой машины, которые вырабатывают энергию, а «сырьем для переработки» служит **время**. Оно в силу особых физических свойств способно продлить активность и жизнеспособность объекта: чем дольше существует объект, тем больше обретает способность к продолжению существования.

Сначала слово «время» появилось в речах и статьях робко, крайне предположительно. Затем оно внедрялось все более настойчиво, надежно, твердо. Предположение превратилось в утверждение, аксиому. Оригинальная «теория времени» Козырева привлекла к ее автору внимание многих посвященных и непосвященных, вызвала к нему как симпатии, так и антипатии. Загадочность теории и ее создателя возрастала вместе с популярностью. Кто же он, этот известный — неизвестный ученый? Какие пути привели его к столь необычным идеям?

1

Николай Александрович Козырев родился 2 сентября (20 августа ст. ст.) 1908 г. в Ленинграде (С.-Петербурге) в семье горного инженера Александра Адриановича Козырева, известного специалиста по Министерству земледелия, служившего в департаменте улучшения землеустройства и занимавшегося вопросами гидрологии Казахстана. Выходец из русских крестьян г. Бугульмы Самарской губ., Козырев-старший дослужился до чина действительного статского советника, что давало ему привилегии потомственного дворянина, распространявшиеся, по дореволюционным законам, на жену и детей. Мать Козырева-младшего Юлия Николаевна происходила из фамилии самарского купца Шихобалова. В семье старших Козыревых были еще трое детей: сын Алексей (1916 г. рождения) и две дочери — Юлия (1902 г.) и Елена (1907 г.). Все эти люди (обоих поколений, и отцов и детей) ушли из жизни поочередно, по порядку старшинства: отец — в 1931 г. в возрасте 57 лет, мать, будучи моложе своего мужа на восемь лет, пережила его на 30 лет. Остальные умерли в 80-х годах, последним — инженер-геолог Алексей Александрович в феврале 1989 г. Они составляли самое близкое окружение в годы детства и юности, когда рос и воспитывался будущий ученый.

По окончании средней школы в 1924 г. Николай Козырев поступил в педагогический институт, затем, по настоянию профессоров, перешел на астрономическое отделение физико-математического факультета Ленинградского университета, который окончил в 1928 г., и был принят аспирантом в Главную астрономическую обсерваторию СССР в Пулкове (обсерватория находилась тогда в ведении Наркомпроса, в состав Академии наук она перешла в 1934 г., что отразилось в ее названии только в 1945 г.).

В Пулкове оказались еще двое ровесников Н. А. Козырева, одновременно окончивших Ленинградский университет,— В. А. Амбарцумян и Д. И. Еропкин. Все трое находились в подчинении академика А. А. Белопольского: двое первых как его аспиранты, а третий как ученый секретарь КИСО (Комиссии по



Н. А. Козырев. 1935 г.

исследованию Солнца), председателем которой был тот же академик. «Неразлучная троица» оставила по себе память в Пулкове до нынешних дней. Во-первых, все трое выделялись своими незаурядными способностями и нестандартными ранними публикациями, уже тогда частично вошедшими в сокровищницу мировой астрофизики; во-вторых, они отличались своим озорством, особенно проявившимся в противоборстве с администрацией обсерватории. Возможно, это был какой-то неявный протест более высокого порядка против ущемления инициативы и демократии вообще.

Высшие учебные заведения и научно-исследовательские институты в 20-х годах претерпевали перманентную ломку организационных форм, более или менее завершившуюся только к концу 30-х годов. Это не могло не отразиться на воспитании молодого поколения и на содержании исследовательских работ, которые загонялись в узкие рамки стандартного мышления и сугубо практического назначения. Организационная ломка сопровождалась полной ликвидацией демократических начал в управлении учреждениями, что наглядно проявлялось в Пулковской обсерватории. Со времени ее основания директор избирался Общим собранием Академии наук, причем директор обсерватории по уставу автоматически становился действительным членом Академии (академиком). С введением должности вице-директора последний также избирался Академией — собранием 1-го отделения (физико-математического). После революции 1917 г. обе должности замещались по выбору Совета астрономов: директор — сроком на 5 лет, вице-директор — на 3 года. Совет (коллектива) обсерватории, стихийно возникший из сущности Советской власти, избирал также лиц на все научные должности, включая сверхштатных астрономов. Доброе начало.

В 1930 г. истекал срок пребывания в должности директора А. А. Иванова, избиравшегося на эту должность дважды. В январе 1931 г. в Пулково прибыл первый директор-назначенец А. Д. Дрозд. Путем назначений стали замещаться и все остальные должности, начиная с заведующих секторами, введенными в структуру обсерватории в том же году, а впоследствии переименованными в отделы. Совет астрономов утратил какое-либо значение и прекратил свое существование. «Красный директор» (А. Д. Дрозд, сотрудник обсерватории с 1919 г., вступивший в РКП (б) в 1920 г., тогда же организовал партячейку при Пулковской обсерватории, но был вскоре уволен, по решению Совета астрономов) оставался на посту руководителя учреждения менее двух с половиной лет. В мае 1933 г. на должность директора обсерватории был назначен профессор Б. П. Герасимович. Этот замечательный ученый и неплохой организатор почему-то не сумел установить контакт с «троицей» молодых астрофизиков. Так в Пулкове сложилась «конфликтная ситуация».

Окончившие аспирантуру в 1931 г. В. А. Амбарцумян и Н. А. Козырев были зачислены в штат обсерватории учеными специалистами 1-го разряда. Направленность работ их руководителя по аспирантуре несомненно отразилась на характере совместных и раздельных статей обоих молодых ученых: немалая доля их публикаций посвящена спектральным исследованиям Солнца. Но уже в них наметился и самостоятельный подход к решению проблем физики Солнца с использованием «неклассических» методов. Вполне оригинальными были работы в области теоретической астрофизики, которая тогда «входила в моду» благодаря трудам Милна, Эддингтона, Занстра и которая быстро развивалась на основе успехов квантовой физики, теории относительности, физики атомного ядра. В. А. Амбарцумян и

Н. А. Козырев тесно соприкасались с группой физиков-теоретиков, почти ровесников, окончивших Ленинградский университет приблизительно в те же (двадцатые) годы и работавших в университете и Физико-техническом институте. Из этой группы вышли знаменитости: Г. А. Гамов (1904—1968), Л. Д. Ландау (1908—1968), М. П. Бронштейн (1906—1938), Д. Д. Иваненко (род. 1904). Известны серьезные работы по астрофизике первых трех, выполненные в 30-е годы. Последние двое (из названных) неоднократно приезжали в Пулково, где проводились «вольные обсуждения» современных проблем теоретической физики и астрофизики [1]. Это была своеобразная школа «самообразования талантов», где уже «вышедшая в люди» молодежь училась на международных образцах и не только осваивала сложнейшие теории, но и творчески перевоплощала их.

Учась, учили других: В. А. Амбарцумян преподавал в университете теоретическую физику и теоретическую астрофизику, Н. А. Козырев читал лекции по теории относительности в педагогическом институте. Оба участвовали в создании новой науки — теоретической астрофизики. Сотворение нового — это не прикладывание достижений экспериментальной и теоретической физики к объектам астрофизических исследований, не простая примерка, потому что объекты физики и астрофизики существенно различны. Если предметом теоретической физики являются элементарные процессы взаимодействия вещества и излучения (атом — квант), то астрофизика изучает суммарный результат многократно осуществляемых и значительно усложняемых процессов в гигантских системах, каковыми являются звездные атмосферы и звезды как целое. Процесс элементарного взаимодействия трансформируется в процесс переноса излучения (энергии) из недр звезды к ее поверхности. Благодаря рассеянию излучения в пространстве астрофизические приборы позволяют наблюдать на неизмеримо больших расстояниях явления, протекающие на поверхности звезды. По составу наблюдаемого излучения судят о характере явлений, причем астрофизика пытается не просто установить характер, но и выявить причины явлений, для чего необходимо проникнуть внутрь звезды. Это позволяет сделать только теория. Изучая процессы переноса энергии, теоретик может «заглянуть» в недра звезды через мощный энергетический поток, при этом необходимо еще решить проблему устойчивости гравитирующего и излучающего (при колоссальном давлении изнутри) массивного тела. Исследование звездных недр связано с проблемой источников энергии. Проблемы множатся и нагромождаются также вследствие того, что наблюдаются звезды разнообразных (спектральных) классов и типов (устойчивые, переменные, нестационарные), а кроме звезд существуют другие объекты (светлые и темные туманности разных типов, невидимые «белые карлики», пульсары и т. п.), подлежащие изучению. К каждому объекту и к разным характерам — свой подход, особый метод исследования. Эта наука обширна, хотя в те годы — годы становления — она не была столь разносторонней.

Из ранних публикаций Н. А. Козырева следует отметить статьи об определении температуры солнечных факелов по данным собственных наблюдений и о результатах спектрофотометрического изучения солнечных пятен. В этой статье автор доказывал, что в пятнах должно соблюдаться лучевое равновесие и что сами пятна находятся гораздо глубже в солнечной атмосфере, чем считалось в то время. Впоследствии эта точка зрения Козырева подтвердилась. В 1934 г. он опубликовал в Monthly Notices, ежемесячнике Королевского Астрономического общества (Лондон), солидное исследование о лучевом равновесии протяженных фотосфер звезд. Если в обычной задаче переноса лучистой энергии атмосферные слои рассматриваются как плоскопараллельные, то для звезд с протяженными фотосферами такое упрощение недопустимо. Учитывая сферичность фотосферных слоев, Козырев сделал упрощающее предположение, что плотность в них изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от центра звезды (непрерывное истечение вещества с поверхности звезды). Далее он использовал имевшиеся данные наблюдений для некоторых типов звезд (Вольфа — Райе, Р Лебедя, горячих сверхгигантов) и получил результат, теоретически объясняющий наблюдаемые аномалии исследуемых объектов. В том же номере указанного ежемесячника опубликована аналогичная, хотя более общая, теория С. Чандрасекара, статья которого поступила на полгода позже. Теория приобрела имя Козырева — Чандрасекара.

По сравнению с Н. А. Козыревым В. А. Амбарцумян пошел гораздо дальше в разработке проблем теоретической астрофизики и организации исследований в этой области. Став профессором Ленинградского университета в 1934 г., он организовал и возглавил кафедру теоретической астрофизики при математико-механическом факультете, которая превратилась в Ленинградскую школу теоретиков-астрофизиков (В. В. Соболев, В. Г. Горбацкий и др.), пользующуюся огромным авторитетом поныне. Сам Амбарцумян, продолжая увеличивать личный вклад в избранную им область исследований, составил первый в нашей стране учебный «Курс теоретической астрофизики» (1939 г.). Впрочем, на этом биографические параллели Козырева и Амбарцумяна, тянувшиеся десять лет, придется оборвать: с уходом последнего из Пулкова их жизненные пути начали расходиться и полностью разошлись к концу 30-х годов.

Работы Д. И. Еропкина относились главным образом к области геофизики. Совместно с ним Н. А. Козырев опубликовал две статьи, содержащие результаты экспедиционных работ по исследованию спектральным методом полярных сияний, свечения ночного неба, зодиакального света. При интерпретации

наблюдений к изучению земной атмосферы также была применена астрофизическая теория лучевого равновесия. Эти работы рассматривались в те годы как весьма актуальные, они дополняли общий комплекс геофизических атмосферных исследований, предпринятых советскими учеными с различных позиций, в частности с помощью полетов на аэростатах в стратосферу. Однако инициатива пулковских астрофизиков не нашла поддержки у директора обсерватории, что причинило много неприятностей и молодым астрономам, и директору [2]. Конфликтная ситуация усугублялась.

2

События развертывались следующим образом.

В мае 1934 г. умер академик А. А. Белопольский, высоко ценивший деятельность Д. И. Еропкина как научного работника и ученого секретаря КИСО. Названная комиссия перешла в ведение ГАО (до этого она находилась в подчинении Отделения математических и естественных наук, ОМЕН АН СССР), председателем ее стал Б. П. Герасимович. Таким образом, Еропкин и Козырев — оба оказались во власти директора Пулковской обсерватории. Критика с их стороны в адрес директора поутихла (к тому же и «троица» распалась). Правда, Еропкин, оставаясь ученым секретарем КИСО, продолжал писать докладные записки по поводу включения в план ГАО темы по исследованию земной атмосферы. Руководитель обсерватории, признавая «важность этой темы для народного хозяйства и обороны страны», противился включению ее в исследовательский план ГАО как не соответствующей профилю учреждения. Запрос директора в Президиум Академии наук насчет дополнительного ассигнования по геофизической тематике оставался без ответа.

Тем не менее с 25 июля 1935 г. Д. И. Еропкин и Н. А. Козырев отправились на два месяца в Таджикистан для наблюдений зодиакального света. Приказ об их командировании подписал зам. директора ГАО Н. И. Днепровский (директор находился в заграничной командировке) [3]. В конце сентября командировка Еропкина и Козырева была продлена до 15 ноября «в целях наиболее успешного окончания работ Таджикской экспедиции». На этот раз приказ подписан Б. П. Герасимовичем, возможно, под давлением общественности. Действительно, работы в экспедиции шли успешно: помимо намеченных наблюдений зодиакального света ученые специалисты Пулковской обсерватории провели серию исследований ультрафиолетовой радиации Солнца и влияния на нее запыленности атмосферы в Сталинабаде и его окрестностях, предоставив важный материал медицинским учреждениям столицы Таджикистана. Для выполнения работ «по заданию Наркомздрава Тадж. ССР» Д. И. Еропкин и Н. А. Козырев были временно зачислены в штат Таджикской

базы АН СССР. Об их важной и полезной деятельности писала газета «Коммунист Таджикистана» в декабре 1935 г. (№ 276/1765).

По возвращении Еропкина и Козырева в Пулково директор Б. П. Герасимович собрал материал об их «инициативных действиях» в Таджикской экспедиции и направил 6 февраля 1936 г. «дело Козырева и Еропкина» на 17 листах непременному секретарю Академии наук Н. П. Горбунову с представлением незадачливых инициаторов «к отчислению от занимаемых ими должностей в ГАО» [4]. Санкция из Президиума АН СССР была получена, и в праздничный день 8 марта 1936 г. появился приказ № 47 по ГАО такого содержания: «На основании распоряжения непременного секретаря АН СССР за использование экспедиции, полностью оплаченной ГАО, для выполнения посторонних обсерватории работ и сокрытие получения на ту же экспедицию вторых средств от другого академического учреждения (Таджикская база АН СССР) ученые специалисты Еропкин Д. И. и Козырев Н. А. увольняются с сего числа из состава сотрудников ГАО».

Приказ подписал директор Б. П. Герасимович. Вместе с тем директор ГАО направил в народный суд дело о «незаконном получении» вторых денег по ранее оплаченной экспедиции. Рассмотрение дела состоялось на судебном заседании 25 мая 1936 г. Свидетельские показания против обвиняемых давал астроном В. П. Цесевич, в то время директор Сталинабадской обсерватории, однако суд отклонил свидетельства, поскольку счел Цесевича заинтересованным лицом, указав на его вину в приеме на работу пулковских сотрудников без согласия дирекции ГАО (нарушение правил о совместительстве). В защиту выступили проф. В. А. Амбарцумян и научный сотрудник ЛГУ А. И. Лебединский; академик В. Г. Фесенков сделал письменное заявление, что принятие второй работы нисколько не повредило выполнению первой и что «изучение только одного вопроса в условиях экспедиции явно нецелесообразно, а ценность и значение обеих работ достаточно отражены прессой». В результате суд постановил «дело производством прекратить», при этом вынес частное определение руководству обсерватории ввиду «ненормальных отношений» в коллективе ГАО. Незаконных действий со стороны Козырева и Еропкина судом не установлено.

В конце мая шли последние приготовления к отправке экспедиций в район полосы полного солнечного затмения 19 июня 1936 г. Эпохальное событие в истории советской астрономии — о нем много написано [5]. Н. А. Козырев намечался участником экспедиции в Омск, начальником которой был назначен И. А. Балановский, заведующий Астрофизическим отделом ГАО. Будучи уволенным из обсерватории, Козырев исключался также из состава пулковской экспедиции. Как научный сотрудник Астрономической обсерватории ЛГУ он участвовал в наблюдении

затмения в составе экспедиции Ленинградского университета, направлявшейся в район г. Красноярска.

С возвращением в Ленинград возобновились хлопоты по восстановлению на работе в Пулковской обсерватории. Снова слушание в народном суде (Слуцкого района, к которому территориально относилось Пулково), теперь уже по иску Д. И. Еропкина и Н. А. Козырева. Решением от 16 июля 1936 г. суд предложил истцам обратиться в вышестоящие инстанции, поскольку «ответчик — Пулковская обсерватория — не имеет права приема и увольнения научных работников», чем ведает непременный секретарь Академии наук (ссылка на циркулярное письмо Президиума АН СССР от 28.XII.1935 г.). Ленинградский областной суд вернул дело на пересмотр в нарсуд Детскосельского участка, который решением от 7 августа 1936 г. предложил восстановить Д. И. Еропкина и Н. А. Козырева на работе.

Тем же летом в газете «Ленинградская правда» появились две статьи Д. Славентантора под названиями «Лестница славы» («ЛП» от 4.VI.1936 г.) и «Рыцари раболепия» («ЛП» от 18.VII. 1936 г.), целиком относящиеся к делам Пулковской обсерватории. Направляя обе статьи Н. П. Горбунову, Б. П. Герасимович утверждал, что они инспирированы Козыревым и Еропкиным и что публикации «являются лишь новым этапом в систематическом клеветническом походе против ГАО», проводимом «этими лицами» [6]. В первой статье описаны похождения авантюриста Н. М. Воронова, принятого «с помпой» на работу в ГАО 15 февр. 1935 г., а через год незаметно уволенного путем предоставления отпуска с последующим оформлением отчисления из штата. Сопоставляется шумиха, поднятая вокруг увольнения Козырева и Еропкина, с тихим уходом подлинного авантюриста.* Во второй, со ссылкой на аналогичную статью в газете «Правда» («Традиции раболепия»), приводятся примеры из жизни Пулкова, где «преклонение перед заграницей» сопровождалось «зажимом критики» и переплеталось со стародавними традициями, определявшимися правилом «не выносить сора из избы». Но вынесенный сор уже разлетелся и достиг столицы.

В связи с публикациями «ЛП» и решением Детскосельского суда Президиум АН СССР принял специальное постановление на заседании 16 августа 1936 г. [8, л. 4]: 1) Обжаловать решение народного суда о восстановлении на работе в Пулковской обсерватории ученых специалистов Д. И. Еропкина и Н. А. Козырева; 2) Принимая во внимание появившиеся в «Ленинградской правде» статьи, где отмечается ряд отрицательных явлений в деятельности обсерватории, назначить комиссию в составе проф. Пашуканиса Е. Б., акад. Вавилова С. И. и чл.-кор. Никифорова П. М. для обследования положения дел в Пулковской обсерватории; 3) Для укрепления руководства административно-хозяйственной деятельностью обсерватории освободить зам. директора по АХЧ Б. А. Шигина и назначить на эту должность тов. Н. И. Фаворского.

* Скандальная история с Н. М. Вороновым даже обсуждалось на сессии физической группы Академии наук СССР по вопросам организации астрономии (23—30 октября 1936 г.) [7].

Того же 16 августа подана в Ленинградский областной суд кассационная жалоба, соответствующая п. 1 постановления Президиума, за подписью Б. А. Шигина (директор обсерватории находился в отпуске с 1 по 28 августа). На другой день в соответствии с п. 3 того же постановления Б. А. Шигин освобождается от должности зам. директора ГАО. Временно помощником директора по хозяйственной части назначается П. М. Пименов. Через неделю дела АХЧ предлагается принять приехавшему в Ленинград Н. И. Фаворскому. Приказы по ГАО подписывает Н. И. Днепровский. Все вполне оперативно, хотя эти меры, казалось бы, не вытекали непосредственно из хода событий, приведших к рассмотрению пулковских дел Президиумом АН СССР. Б. А. Шигин был неплохим хозяйственником, членом ВКП(б), но с «троцкистскими замашками»; в обсерватории преданно служил Герасимовичу. Н. И. Фаворский — тоже член ВКП(б), с высшим экономическим образованием, «без подозрений».

В конце августа в ленинградской газете появляется новая статья «Еще раз о пулковских нравах», подписанная А. Неждановым и Д. Славентантором («ЛП» от 27.VIII.1936 г.). Снова говорится о зажиме критики в этом старомодном учреждении, «о выживании директором обсерватории молодых научных работников», а главное о «двойной игре» директора и предместкома. Первый, действуя жестоко против Козырева, прикрывался от газетчиков и других защитников благожелательными отзывами о нем; второй, старавшийся во всем угодить директору, на стороне осуждал его действия. Задета и парторганизация. Вернувшийся из отпуска Б. П. Герасимович написал уполномоченному комиссии партийного контроля при ЦК ВКП(б) по Ленинградской области жалобу на парторга обсерватории А. П. Рогова (занимавшего должность экономиста), обвиняя его в «отрыве от администрации» и уклонении от ознакомления «с общим ходом дел в ГАО», а также в «подлоге» (термин заявителя), состоявшем в том, что когда директор перед уходом в отпуск просил парторга передать в редакцию газеты ответ на предыдущую публикацию от имени треугольника, Рогов доставил ответ только за подписью директора, без подписей двух других членов треугольника (по поводу чего будто бы поступило в партийные органы также заявление председателя месткома М. С. Эйгенсона [8, л. 5]). Очевидно, директор не знал, что парторг Рогов не мог подписать опровержение, составленное Эйгенсоном, поскольку дело приняло иной оборот: партячейка ГАО выразила поддержку публикациям «ЛП» и направила ее в письменной форме в редакцию газеты. Одобрение выразил и беспартийный

председатель месткома вопреки им же написанному ответу от треугольника. В этом и заключалась его «двойная игра». Директор просил произвести замену на посту парторга ГАО, но через месяц его исполнитель Н. И. Фаворский нашел повод считать А. П. Рогова уволенным из обсерватории. Парторгом становится А. М. Лейкин, командированный в Пулково Томским университетом, а вскоре зачисленный в штат ГАО.

Комиссия Президиума АН СССР по обследованию Пулковской обсерватории под председательством зам. наркома юстиции Е. Б. Пашуканиса (назначенного на эту должность в 1936 г., а в 1937 г. расстрелянного) работала в сентябре [8, л. 10—15]. Отметив положительные стороны в деятельности обсерватории, в частности ее руководства в лице Б. П. Герасимовича, комиссия, как принято, больше констатировала отрицательные явления, а затем перешла к рекомендациям по устранению недостатков. Статьи в «ЛП» она признала «в основном правильными», сделав подробные замечания по каждой из них. Комиссия отметила «проявление со стороны директора обсерватории нетерпимости к критике» в его адрес. Высказаны серьезные упреки в адрес Н. А. Козырева и Д. И. Еропкина по поводу их «индивидуализма, несовместимого с планомерно организованной работой», использования ими «недопустимых приемов научной критики», необоснованных требований включения в план геофизических тем, лишенных финансирования по сметам ГАО, неправильного поведения в Таджикской экспедиции при выполнении сторонних работ без ведома дирекции Пулковской обсерватории. Тем не менее комиссия рекомендовала восстановить Н. А. Козырева на работе в ГАО, ограничившись выговором в приказе, после возвращения неправильно полученных им денег. Относительно Д. И. Еропкина выражено пожелание предоставить ему возможность работы где-либо в другой обсерватории или геофизическом учреждении.

Президиум АН СССР на заседании 5 октября 1936 г. выразил согласие с рекомендациями комиссии, кроме пункта, касающегося Козырева и Еропкина, по которому решение было отложено. Такие страсти бушевали в обсерватории (и вокруг нее) в течение семи месяцев из-за необдуманного увольнения двух ученых специалистов, но Президиум не внял голосу даже посланной им высокой, компетентной комиссии. Как видно, сильное упорство проявили Б. П. Герасимович и Н. П. Горбунов, отстаивая свой престиж. Уволенным предстояли новые мытарства, дальнейшая судебная канитель.

Тем временем в Ленинграде начались аресты ученых, преподавателей вузов, научных работников. В числе арестованных оказались многие физики, математики, геофизики, астрономы. Одним из первых был арестован член-корреспондент АН СССР Б. В. Нумеров, директор Астрономического института. Ему приписали роль организатора террористической антисоветской группы среди интеллигентов. Многих других заключали в тюрьму, а затем судили «по делу Нумерова».*

Волна арестов докатилась и до Пулкова. 31 октября 1936 г. был арестован научный консультант Пулковской обсерватории по вопросам радиофизики А. П. Константинов как участник «контрреволюционной организации». В ночь на 7 ноября совершились аресты еще четырех пулковцев: И. А. Балановского, Н. В. Комендантова, П. И. Яшнова и Н. А. Козырева. Дата операции подобрана кощунственно: к каждой годовщине Великого Октября обычно реабилитировали уголовных преступников, а на этот раз пополняли армию заключенных числом политических, нереабилитируемых. Козырева арестовали на торжественном вечере 6 ноября, прямо на балу в Доме архитектора (бывший Юсуповский дворец, ныне ДК Работников просвещения). Очередное кощунство совершено в ночь на 5 декабря (День Сталинской Конституции): тогда арестовали Н. И. Днепровского и Д. И. Еропкина. Для чего избирались такие даты? С целью выполнить операцию менее заметно или, наоборот, громогласно провернуть «мероприятия против контрреволюции», нагнать страху на обывателей? Во всяком случае в Пулкове аресты наделали много шума: даты их и жертвы не забыты до сих пор.

Н. В. Комендантова, занимавшего должность ученого секретаря обсерватории, сменил М. М. Мусселиус, но последнего также арестовали 10 февраля 1937 г. Должность становилась опасной. Впрочем, репрессировали не по должностному признаку. Сменивший И. А. Балановского на посту заведующего отделом астрофизики и звездной астрономии молодой профессор Е. Я. Перепелкин был арестован 11 мая 1937 г. Затем добрались и до директора. Б. П. Герасимовича арестовали 29 июня 1937 г. в поезде при возвращении из Москвы, куда он выезжал по вызову Президиума Академии наук. Одновременно с ним арестовали непременного секретаря Академии Н. П. Горбунова (которого 7 сентября 1937 г. не стало в живых).

Пулковские сотрудники, арестованные с ноября по февраль, были судимы в Ленинграде 25 мая 1937 г. выездной сессией Военной коллегии Верховного Суда СССР. Семеро (И. А. Балановский, Н. И. Днепровский, Н. В. Комендантов, П. И. Яшнов, М. М. Мусселиус, Н. А. Козырев, Д. И. Еропкин) были «признаны виновными в преступлениях» по ст. 58 пп. 6, 8 и

* Только недавно стала известна полная формулировка обвинения, предъявленного большой группе (свыше 100 человек) ленинградских ученых, арестованных во второй половине 1936 — первой половине 1937 г. Людей (специалистов НИУ и преподавателей вузов) судили по подозрению в «участии в фашистской троцкистско-зиновьевской террористической организации, возникшей в 1932 году по инициативе германских разведывательных органов и ставившей своей целью свержение Советской власти и установление на территории СССР фашистской диктатуры» (из справки Управления КГБ по Ленинградской области от 10.03.89 г. № 10/28—456, присланной по запросу ГАО. Канцелярия ГАО, вх. № 36 от 17.03.89 г.).

11 УК РСФСР и стандартно приговорены каждый «к 10 годам тюремного заключения с поражением в политических правах на 5 лет, с конфискацией всего, лично ему принадлежащего имущества». Суд над каждым, поодиночке, длился по нескольку минут без предъявления обоснованного обвинения, без защиты, только с учетом собственных «признаний виновных»... под пытками. Не суд, а расправа. А. П. Константинов, судимый там же в тот же день, был приговорен к высшей мере наказания — расстрелу и казнен 26 мая 1937 г.* (Это старший брат Б. П. Константинова (1910—1969), в последующем академика (1960 г.), директора Физико-технического института в Ленинграде (1957—1967 гг.) и вице-президента Академии наук СССР.)

Б. П. Герасимович разделил участь Н. П. Горбунова. Судимый в Ленинграде 30 ноября 1937 г. на закрытом судебном заседании (выездной сессией Военной коллегии Верховного Суда СССР) и приговоренный к ВМН он был расстрелян в день суда.

По существовавшему тогда кодексу 10-летний срок заключения считался наибольшим, выше — расстрел, но из практики НКВД того же периода видно, что почти все осужденные по политическим мотивам подлежали ликвидации. Из пулковских астрономов живым остался только один Козырев, остальные погибли. Трое — Д. И. Еропкин, М. М. Мусселиус, Е. Я. Перепелкин — были расстреляны в тюрьмах после дополнительного осуждения особыми тройками «за контрреволюционную троцкистскую агитацию среди заключенных» (формулировка удивительно однообразна независимо от места осуждения, как будто она отражала установку свыше). Б. В. Нумеров расстрелян в Орловской тюрьме 13 сентября 1941 г. без суда, очевидно в связи с нависшей угрозой оккупации г. Орла немецко-фашистскими войсками. Судьбы остальных мало известны. Свидетельствам о смерти, выданным в 1956 г. родственникам погибших при реабилитации ранее осужденных, трудно верить. Например, согласно свидетельству, выданному 15 мая 1956 г. Городским бюро ЗАГС г. Кемерово гр-ке Перепелкиной Г. П., ее муж умер 23 августа 1940 г. (дата и год уточнены прописью) по причине сахарного диабета; согласно справке Ленинградского УКГБ от 10.03.1989 г. Перепелкин Е. Я., осужденный Спецколлегией Ленинградского облсуда на закрытом заседании 17 июня 1937 г. и приговоренный «к 5 годам лишения свободы с последующим поражением в правах на 3 года», при отбывании наказания в Мариинском ИТЛ (исправительно-трудовом лагере) Красноярского края был расстрелян 13 января 1938 г. по приговору особой тройки НКВД Западно-Сибирской области от 25 декабря 1937 г. Оба документа выданы официальными органами.

---

* Справка Ленинградского УКГБ от 9.08.1989 г. за № 10/32—2/89 (по запросу ГАО от 5.06.89 г.).

3

В интервью с Б. А. Викторовым, зам. Главного военного прокурора в 1954—1967 гг., ведавшим делами по реабилитации невинно осужденных в сталинские времена, журналист Н. В. Успенская [9] спросила, повлияла ли на аресты в Пулкове имевшая тогда место конфликтная ситуация. Собеседник, перед интервью вновь познакомившийся с делами пострадавших, отвечал: «По документам видно, что между сотрудниками были конфликты. В их суть я не входил, потому что следствие шло не по этому пути...» Несомненно, следствие шло по заранее намеченному пути и также не входило в существо пулковских конфликтов. Если бы на самом деле существовала скрытая террористическая организация, то с учетом конфликтов Козырева и Еропкина не следовало подозревать в принадлежности к ней как изгоев. Любая нелегальная партия или организация, а террористическая в особенности, может функционировать только при наличии в ней единства и жесткой дисциплины, которой кажущимся образом подчиняются даже провокаторы, внедряемые извне [10]. А тут не было никакого единства, никакой организации. Кроме того, «конфликтная ситуация» не выходила за пределы Пулкова (находившегося за чертой города), а аресты происходили по всему Ленинграду. Также не следует считать, что существенную роль могли играть «доносы» [11], поскольку доносчиков невозможно было выставить как свидетелей: любые свидетели незаконных операций были излишни, тем более что они могли изменить ход запланированной операции. Тот же Б. А. Викторов указывает: «Искать доносчиков — попусту тратить время. Они, как и творцы «сценариев», далеко не всегда «попадали в кадр». Чаще всплывали, так сказать, «свидетели обвинения».

Сценарии действительно разрабатывались в целях «очищения партийных рядов» или ликвидации «классово-враждебных элементов» и нагнетания страха среди интеллигенции.* Ныне, по прояснении ряда обстоятельств, аналогичный сценарий просматривается на ленинградских процессах 1937 года по «делу Нумерова». В кабинетах Ленинградского управления НКВД рождалась провокационная «организация интеллигентов», нелепые цели которой сформулированы в обвинительном заключении на одном из многочисленных закрытых судебных процессов того злополучного года. Надуманность и бюрократическая неуклюжесть формулировки бросается в глаза. Это — теперь. Тогда же

---

* В докладе Н. С. Хрущева «О культе личности и его последствиях» на XX съезде КПСС (25 февраля 1956 г.) говорилось о чудовищной фальсификации политических дел в бывших управлениях НКВД Ленинградской и других областей, о заблаговременном составлении списков участников «антисоветских заговоров», подлежавших разоблачению, и даже заранее намечавшихся мерах наказания [12].

начальство поощряло такое сочинительство: ведь и на открытых процессах в Верховном суде с участием государственного обвинителя А. Я. Вышинского формулировки не блистали большей правдоподобностью.

Наполнение вымышленных организаций и группировок «участниками» происходило через отделы кадров путем предварительного ознакомления с анкетными материалами, которые собирались скрупулезно. Недаром ведение кадровыми вопросами поручалось таким надежным людям, как Н. И. Фаворский, и, может быть, не случайно в Пулковской обсерватории за два с лишним месяца до арестов было произведено «укрепление руководства» административно-хозяйственной деятельностью: методы и принципы подбора «членов» фиктивной группировки не должны быть известны. Но эти мнимые члены, которых вскоре начнут «разоблачать».— живые люди. Сценарий превращался в человеческие трагедии.

Как общее для арестованных пулковских сотрудников выявляется то, что на вопрос анкеты о социальном происхождении почти все они приписывали себя к дворянству, хотя подлинными выходцами из дворян были далеко не все. Имелись и другие «компрометирующие данные», например Б. П. Герасимович состоял ранее в партии эсеров, М. М. Мусселиус — из кадровых офицеров царской армии и т. п. В «шпионских связях» с заграницей можно было обвинить любого из сотрудников обсерватории, потому что каждый вел переписку с зарубежными учеными. Таким подбором создавалась «террористическая шпионская организация». Ее «разоблачение» производилось путем выколачивания на следствии «признаний виновных» и «свидетельских показаний». Никто не знал о составлении списков обреченных согласно разработанному сценарию, потому что никто не догадывался о «сценарии», но каждый узнавал о «предательстве» бывшего товарища по службе. Н. А. Козырева уверили, что на него «показал» Б. В. Нумеров, который будто бы перечислил еще многих «участников шпионской организации». Это вошло в один из «Невыдуманных рассказов» И. С. Шкловского * [13]. Сам Козырев, по сведениям Н. В. Успенской [9], дал «показания» на М. П. Бронштейна, а последний «признался», что его завербовал в «фашистскую террористическую организацию» Я. И. Френкель и что в нее также входили В. А. Амбарцумян, В. А. Фок, П. И. Лукирский, Л. Д. Ландау, В. Р. Бурсиан, В. К. Фредерикс, Ю. А Крутков, Н. Н. Павлов. Не все из перечисленных подвергались аресту: вероятно, не все числились в предварительных списках. М. П. Бронштейна, который где-то когда-то называл себя племянником Троцкого (Бронштейна), расстреляли сразу же после суда — 18 февраля 1938 г.

Н. А. Козыреву повезло: он выжил. Впоследствии он мало и неохотно рассказывал о том, как пережил годы тюремного заключения и ссылки в ИТЛ, но некоторые его воспоминания вошли в художественное исследование А. И. Солженицына «Архипелаг ГУЛАГ», рассказ И. С. Шкловского и неопубликованные материалы: биографический очерк, написанный его сыном Ф. Н. Козыревым, а также готовящаяся к печати статья А. И. Кульпина (из Феодосии) ««Докторантура» профессора Козырева» (статья составлена на основе бесед с родными и знакомыми Козырева после его смерти). Сведения эти противоречивы, порой загадочны или просто непонятны: должно быть, от самого Николая Александровича они исходили по-разному, поскольку настроение рассказчика могло быть неодинаковым. Поэтому целесообразно обратиться сначала к официальной справке (см. сноску на с. 19). В ней сказано:

«Козырев Николай Александрович... до ареста 7 ноября 1936 года старший научный сотрудник Пулковской обсерватории и ЛГУ. Выездной сессией Военной коллегии Верховного Суда СССР в закрытом судебном заседании в Ленинграде 25 мая 1937 года признан виновным в преступлении, предусмотренном ст. 58 пп. 8 и 11 УК РСФСР и приговорен к 10 годам тюремного заключения с поражением в политических правах на 5 лет с конфискацией всего, лично ему принадлежащего имущества.

До мая 1939 года отбывал наказание в тюрьме г. Дмитровск-Орловский Курской области, а затем был этапирован через г. Красноярск в Норильские лагеря НКВД (с. Дудинка и г. Норильск). До января 1940 года работал на общих работах, а с января 1940 года по состоянию здоровья был направлен на Дудинскую мерзлотную станцию в качестве геодезиста. Весной 1940 года был расконвоирован и производил топографические съемки с. Дудинки и его окрестностей. Осенью 1940 года работал инженером-геодезистом Дудинского отделения капитального строительства, а с декабря 1940 года назначен начальником Мерзлотной станции. 25 октября 1941 года «за проведение враждебной контрреволюционной агитации среди заключенных» арестован вторично, и 10 января 1942 года Таймырским окружным судом Красноярского края в с. Дудинка приговорен к 10 годам лишения свободы с поражением в политических правах на 5 лет. После суда Козырев Н. А. был переведен в г. Норильск и назначен на работу на металлургический комбинат инженером теплоконтроля. Весной 1943 года по состоянию здоровья был переведен на работу в Геологическое управление Норильского комбината инженером-геофизиком. До марта 1945 года работал прорабом экспедиции на Хантайском озере и начальником Северного

* Автор рассказа о Н. А. Козыреве, очевидно, не слишком задумывался над тем, как преподнести услышанное им от Козырева (возможно, рассказ, опубликованный посмертно, не предназначался для печати). Так, в пересказе фигурирует секретарь парторганизации «Эй-н — личность верткая, горластая...». Нетрудно догадаться, что речь шла о М. С. Эйгенсоне. Однако в 1936 г. он не мог быть секретарем парторганизации, так как вступил в ВКП(б) в 1939 г. Прочее относительно него бездоказательно и бестактно.

Магниторазведочного отряда Нижне-Тунгусской Геологоразведочной экспедиции».

Как и подобает справке, здесь все лаконично и ничего лишнего. Однако непосредственно от Козырева, скажем, из автобиографии, можно было узнать ничуть не больше. Эпизоды тюремной и лагерной жизни сталинских времен красочно описаны в коротких рассказах и повести народного артиста СССР Г. С. Жженова [14], пробывшего в ежовско-бериевских застенках и ссылках свыше 15 лет. Последние ссыльные годы автор этой книги провел тоже в норильском лагере. Его рассказы перекликаются с воспоминаниями Козырева, который однажды назвал тюремные застенки «дантовым адом».

Некоторые эпизоды, рассказанные Н. А. Козыревым, придется еще раз изложить, поскольку они имеют отношение к дальнейшему описанию его жизни и деятельности. Прежде всего странный случай с «Пулковским курсом». Находясь в Дмитровском централе в камере на двоих, Козырев, естественно, много думал об оставленных им проблемах. Он мысленно возвращался к вопросам теоретической астрофизики, в особенности к проблеме источников звездной энергии. И вдруг зашел в тупик: ему недоставало конкретных фактов, примеров, численных характеристик отдельных типов звезд. Товарищ по камере после пребывания в карцере помутился рассудком и вскоре скончался. Козырев остался совершенно один. Глухая камера и идейный тупик: тут можно было сойти с ума. Как раз в один из таких дней безнадежного раздумья открылось окошечко выходной двери камеры и через него просунулась книга, самая необходимая. Это был второй том пулковского «Курса астрофизики»— именно то, что требовалось.* По разным вариантам пересказов Козырев пользовался «Курсом» от одних до трех суток и запоминал все подряд. Потом книга была замечена обходчиком и отобрана, так как литература по специальности заключенным не разрешалась. Козырев до конца жизни полагал, что эта книга случайно оказалась в крайне скудной тюремной библиотеке, а в камеру она точно «с неба свалилась». Однако столь специальное издание весьма ограниченного тиража вряд ли могло попасть в тюрьму без нужды в нем: кто-то позаботился о несчастном астрономе. Только так можно объяснить загадочность случая, если вообще он не был сопряжен с галлюцинацией, вызвавшей из памяти необходимое. Нечто подобное случается иногда с теоретиками, когда сложнейшие задачи решаются в необычных условиях, даже во сне.

Другой эпизод связан с пребыванием в карцере. Попасть в карцер, как свидетельствует Г. С. Жженов, можно было за

* Речь идет о «Курсе астрофизики и звездной астрономии», составленном пулковскими авторами и изданном под редакцией Б. П. Герасимовича в 1934 г. (часть I — методы) и 1936 г. (часть II — результаты).

ничтожный проступок. Возбужденный пробудившимися мыслями от запоминания сведений «Пулковского курса», Козырев начал ходить по камере, тогда как днем разрешалось только сидеть на табурете, а ночью лежать на койке. За ходьбу Козырев был отправлен в карцер на пять суток, что случилось в феврале 1938 г. Температура в карцере держалась около нуля градусов. Туда заталкивали в нижнем белье, без носков; из еды выдавали только кусок хлеба и кружку горячей воды в сутки. О кружку с водой можно было погреть замерзающие руки. Мерзнувшее тело обогреть было нечем, и Козырев обратился к богу. Он молился, и с того момента почувствовал внутреннее тепло, благодаря чему он выдержал пять или даже шесть мучительных суток (Козырев старался вести собственный счет времени, которое не поддавалось исчислению по внешним признакам, и по его мнению тюремщики накинули ему лишние сутки, чтобы заморить до конца).

Впоследствии он размышлял, откуда могло появиться внутреннее тепло. Конечно, он знал, что внутри живого организма тепло может появиться за счет разнообразных жизненных процессов, и нередко человек держится сравнительно долгий срок без потребного приема пищи и, как говорят в народе, бывает «сыт святым духом». Но как естествоиспытатель он решил, что такое, по-видимому, может произойти и с неживым телом в недрах неорганической материи. Тогда и зародилась мысль о всеобъемлющем источнике тепла отнюдь не божественного происхождения.

Норильский лагерь был до какой-то степени спасением для Козырева. С 1939 г. Норильск начал усиленно расстраиваться вследствие возросшей важности медно-никелевого горнорудного комбината. Для строительства так годились даровые рабочие руки: расчистка строительных площадок, рытье котлованов в условиях вечной мерзлоты, разгрузка стройматериалов и погрузка леса в морском и речном порту Дудинка на Енисее, связанном железной дорогой с Норильском (122 км). Геологоразведочные работы и расширяющиеся топографо-геодезические съемки требовали специалистов. В военное время их неоткуда взять: все геодезисты мобилизованы в армию. Тут Козырев и нашел применение знаниям, приобретенным в университете. Более того, в нем появилась нужда; как видно из справки, начальство заботилось даже о состоянии его здоровья. Для производства топографических работ он был расконвоирован: все равно бежать некуда. Однако через полтора года снова арестован и вторично осужден 10 января 1942 г. Таймырским окружным судом «за проведение враждебной контрреволюционной агитации среди заключенных». За такую же деятельность в Грязовецкой тюрьме Вологодской области его однокашник Д. И. Еропкин поплатился собственной жизнью. Козырев был приговорен к 10 годам лишения свободы сверх отбытого срока.

Какого рода «контрреволюционная агитация» могла привести к строжайшему наказанию вплоть до расстрела? Козырев помнил некоторые пункты обвинения: 1) подсудимый — сторонник теории расширяющейся Вселенной, 2) считает Есенина (в другом варианте пересказа — Гумилева) хорошим поэтом, а Дунаевского — плохим композитором, 3) во время одной драки в бараке заявил, что бытие не всегда определяет сознание, 4) не согласен с высказыванием Энгельса о том, что «Ньютон — индуктивный осел». По последнему пункту подсудимый готов был спорить: «Значит, вы не согласны с высказыванием Энгельса о Ньютоне?»— спросил председательствующий на суде. «Я не читал Энгельса, но знаю, что Ньютон — величайший из ученых, живших на Земле»,— ответил обреченный астроном. Точно бы повторилась легенда об исходе судилища инквизиции над Галилеем [13]. Верховный суд РСФСР счел приговор Таймырского суда слишком либеральным и заменил его расстрелом, который повис над крамольником Козыревым.

Находившийся в том же лагере Л. Н. Гумилев (сын известного поэта Николая Гумилева, расстрелянного органами ВЧК в августе 1921 г.) предсказал Козыреву, пользуясь искусством хиромантии, что приговоренному не бывать расстрелянным. Отсутствие «расстрельной команды» в Дудинке вряд ли послужило причиной оттяжки времени для исполнения нависшего приговора. Стране был нужен никель (другая никелево-рудная база на Кольском полуострове находилась в зоне военных действий), а никелевый комбинат в Норильске по-прежнему испытывал острую нужду в специалистах. По прошествии определенного срока Верховный суд СССР восстановил решение Таймырского суда относительно «вины» Козырева. Предсказание Гумилева оказалось пророческим и в других случаях смертельной опасности, нередко грозившей астроному на далеком Севере.

Продолжим цитирование справки Ленинградского УКГБ (см. с. 23):

«В августе 1944 года на имя Народного Комиссара Внутренних Дел СССР поступило заявление от академика АН СССР Шайна Г. А. с ходатайством об освобождении из заключения астронома Козырева Н. А. Освобождение Козырева Н. А. и возвращение его на работу по специальности академик Шайн Г. А. мотивировал необходимостью восстановления разрушенных немцами центров астрономической науки в СССР (Пулковской, Одесской, Харьковской и Николаевской обсерваторий), в работе которых Козырев как крупный и талантливый астрофизик может оказать большую помощь.

В июне 1945 года согласно указаний Зам. Наркома Госбезопасности СССР для передопроса и изучения дела в Москву из Норильска был этапирован Козырев Н. А. При проверке было установлено, что Козырев Н. А. является талантливым научным работником, который разработал в 1934 году новую точку зрения на строение звезд с обширными атмосферами, признанную учеными, известными своими работами в СССР и за границей. Является одним из создателей теоретической астрофизики в СССР. Крупные советские ученые: академик Шайн Г. А., член-корреспондент АН СССР Амбарцумян В. А. и профессора Паренаго П. П., Воронцов-Вельяминов Б. А. и Павлов Н. Н. в своих отзывах высоко оценивают Козырева Н. А. как ученого-астронома, а его работы ставят в первый разряд.

Учитывая изложенное, а также то, что предварительным следствием в 1936—1937 году и судебным заседанием 25 мая 1937 года не было установлено и доказано участие Козырева Н. А. в антисоветской организации, а вынесенный приговор по делу Козырева состоялся по необоснованным данным, было возбуждено ходатайство перед Особым Совещанием МГБ СССР о досрочно-условном освобождении Козырева Н. А. из заключения с правом проживания в городах Ленинграде и Симеизе. 14 декабря 1946 года данное ходатайство было удовлетворено.

21 февраля 1958 года по протесту Генерального Прокурора СССР по делу Козырева Н. А. постановлением Пленума Верховного Суда СССР № 08/119с—57 приговор Таймырского окружного суда от 10 января 1942 г. в отношении Козырева Н. А. был отменен и дело производством прекращено за отсутствием в его действиях состава преступления.

Козырев Николай Александрович полностью реабилитирован».

9 мая 1945 года страна праздновала победу над фашистской Германией. ГУЛАГ не жил полностью изолированно от страны. В победе была также часть труда его узников. Конечно, рабский труд не то, что труд свободного человека. Понимали это всегда, но освобождать узников, особенно политических, не торопились. Однако с Козыревым — необычный случай: тут ходатайства видных ученых (откуда они узнали, что он еще жив?).

Пересмотр липового «дела Н. А. Козырева» тянулся полтора года. Большое внимание ему уделил назначенный в 1946 г. следователь Н. А. Богомолов (полный тезка Козырева). Очевидно, это он осмелился доказать, что «вынесенный приговор (25 мая 1937 г.) по делу Козырева состоялся по необоснованным данным». Весьма контрастная для бериевского периода формулировка. По существу, она призывала к пересмотру дел остальных астрономов, осужденных одновременно с Козыревым, но применена была к единичному случаю, да и в этом случае не привела к реабилитации, хотя дала многое — свободу. Как рассказывал сам Н. А. Козырев, решающим к концу пересмотра дела был вопрос следователя: «Скажите, вы верите в Бога?»,— Козырев ответил утвердительно, на что последовал приказ: «Ступайте!». Значительно позже, уже на свободе, Козырев узнал, что его ответ следователь расценил как правдивость всего сказанного дважды осужденным. А ведь вывод мог быть противоположным

(опять «контрреволюционная агитация»): Козырев безусловно рисковал. Этот эпизод говорит о многом.

4

Н. А. Козырев был освобожден «условно-досрочно» в последних числах декабря 1946 г. Несколько дней он провел в Москве: московские визиты, прежде всего в Академию наук, были связаны с определением на работу и подготовкой диссертации. Г. А. Шайн, хлопотавший об освобождении Козырева, пригласил его в Крымскую астрофизическую обсерваторию, образовавшуюся за два года до описываемых событий. Академик Шайн был назначен директором этой еще только зарождавшейся обсерватории, если не считать ее части в Симеизе — бывшего отделения Пулковской обсерватории, полностью разрушенного.

Теперь еще об одной загадке, связанной с именем Козырева: когда он сделал и полностью оформил свою диссертацию? С удивлением И. С. Шкловский писал, что «через год после окончания срока заключения Козырев защитил докторскую диссертацию» [13]. Казалось, и это выходило за пределы человеческих возможностей, хотя защита Н. А. Козырева состоялась через три месяца с небольшим после его освобождения. А. И. Кульпин объясняет, что при этапировании из Дудинки в Москву Козырева «согревал пакет, зашитый в нательной рубашке», в котором «находилась законченная в черновом виде его докторская диссертация». Статью Кульпина тоже можно назвать «невыдуманным рассказом», поскольку пакет — это не вымысел. Сын Козырева, младший из четырех, сообщает, что отец «нес в голове свою диссертацию». Представляя себе, какие условия для такого рода работы были в тюрьме и лагере, хочется присоединиться к последнему свидетельству, но... письменные наброски в объеме небольшой общей тетради все-таки существовали. И составил он их в Дудинке и Норильске, когда был временно расконвоирован. Затем, при повторном аресте, Козырев какими-то путями, только ему ведомыми, переправил эту тетрадь в Москву академику В. Г. Фесенкову (1889—1972), от которого получил ее при освобождении. На фотовыставке к 75-летию Н. А. Козырева, посмертной, смонтированной его сотрудниками В. В. Насоновым и М. В. Воротковым, писателем А. Н. Строгановым и сыном Д. Н. Козыревым, демонстрировались фотокопии листка из «тетради заключенного Козырева» и его письма В. Г. Фесенкову. Оба документа показывались «вверх ногами», чтобы оставались малозаметными для непосвященных, так как выставка демонстрировалась до наступления «периода гласности».* Кроме того, она не была общедоступной, поскольку размещалась на стенах одной из комнат лаборатории Козырева (до разорения последней), куда доступ по разным причинам крайне ограничивался. Нынешнее местонахождение легендарной тетради пока не установлено.

* В статье [16] нет никакого упоминания об его аресте и десятилетнем пребывании в тюрьме и ссылке. Впервые в советской печати некоторые сведения появились в цитируемом пересказе И. С. Шкловского.

От набросков до окончательно оформленной диссертации — долгий путь, тем более что в набросках никак не могла быть отражена литература, вышедшая за десять лет заточения. Ее требовалось пересмотреть и сопоставить собственные мысли с идеями, возникшими в мире на предмет исследования. Впрочем, просмотр литературы Н. А. Козырев выполнял быстро. Об этом можно судить по более позднему периоду его работы в ГАО. Каждые две недели в научной библиотеке Пулковской обсерватории выставляются новые поступления журналов и книг, причем каждая выставка вмещает до 100, а иногда и более библиотечных единиц. Всю эту книжную массу Козырев обычно просматривал за полтора-два часа, как будто он заранее знал, кто о чем мог написать что-то существенное, ранее не высказанное и не опубликованное. Его интересовали разнообразные темы, записей при просмотре он не делал, но уходил из библиотеки полностью информированный. Таков стиль его работы: он не разбрасывался. Конечно, при окончательной подготовке своей диссертации он проявил предельную сосредоточенность.

Мне, работавшему после войны в Астрономической обсерватории ЛГУ у А. И. Лебединского, удалось присутствовать на защите Козырева (это была моя первая встреча с Николаем Александровичем, односторонняя; обоюдное знакомство и начало сотрудничества произошло приблизительно десятью годами позже). Защита докторской диссертации Н. А. Козыревым состоялась в Ученом совете математико-механического факультета Ленинградского университета 10 марта 1947 г., что зафиксировано документами и сообщениями в печати [17]. Официальными оппонентами по диссертации выступили чл.-кор. АН СССР В. А. Амбарцумян, проф. К. Ф. Огородников и проф. А. И. Лебединский. Защита прошла успешно и была утверждена Ученым советом ЛГУ, на основании чего в 1948 г. решением Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Н. А. Козыреву была присуждена искомая ученая степень.

Диссертация под названием «Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд» опубликована в «Известиях Крымской астрофизической обсерватории АН СССР», научным сотрудником которой он состоял до середины августа 1957 г.* Это капитальный труд Н. А. Козырева, положенный в основу его последующих исследований в разных направлениях — астрономическом, физическом, философском. Читатель сборника имеет

* Полный список научных трудов Н. А. Козырева помещен в конце книги, где даны точные указания места (или издания) и года публикации. Поэтому дальнейшие ссылки будут касаться в основном работ или высказываний других авторов.

возможность сам познакомиться с результатами его десятилетних размышлений и проследить всю цепь чисто физических и астрофизических рассуждений. Математические формулы и выкладки Козырева довольно просты и в какой-то мере изящны, хотя проблема до крайности сложна. Она «пережита» основательно, все переосмыслено многократно, при наличии возможности проработано с выписыванием упрощенных формул палочкой на земле или на снегу (читатель уже знает, в каких условиях создавалась и разрабатывалась диссертация). При отсутствии соответствующих книг необходимые формулы восстанавливались по памяти, а большей частью изобретались заново без излишней громоздкости, без увлечения чистой математикой, с одной лишь целью — высвятить физическую сущность проблемы. Обе части опубликованной диссертации, по мнению ее автора, отображают «опыт индуктивного решения задачи о внутреннем строении звезд путем анализа закономерностей наблюдательной астрофизики».

Результаты анализа сильно расходились со сложившимися представлениями о звездных недрах. Коротко его результаты можно сформулировать так: звезда не представляет собой «атомный котел», вырабатывающий энергию за счет термоядерных реакций, тем более, что ее внутренняя температура (около 6 млн град. по подсчетам Козырева) недостаточна для возникновения и поддержания реакций ядерного синтеза. Вообще звезда — не реактор, а машина, перерабатывающая пока неизвестную нам форму энергии в радиацию. Эту машину следует характеризовать как весьма экономичную, поскольку на производство энергии она практически не затрачивает материала, из которого состоит сама звезда, тогда как внутризвездный ядерный реактор требует существенных затрат при переработке вещества в излучение по принципу эйнштейновского эквивалента массы и энергии. Что касается физических условий внутри звезды, то таковые могут быть рассчитаны в первом приближении из наблюдаемых статистических характеристик звезд (главной последовательности) типа зависимости «светимость — масса — радиус». Расчет и приводит к вышеуказанной температуре для центра Солнца.

Впоследствии Н. А. Козырев находил подтверждение этого вывода в безуспешных попытках обнаружения потока нейтрино от Солнца (наличие ядерных реакций в его недрах должно сопровождаться образованием нейтрино), а также в глобальных пульсациях Солнца с периодом 160 мин, выявленных академиком А. Б. Северным и его сотрудниками в 70-х годах [18, 19].*

---

* Авторы статей отмечали, что «наблюдаемые колебания накладывают новые важные ограничения на теорию внутреннего строения Солнца»; подвергая сомнению термоядерные реакции как основной источник энергии, они высказали предположение о возможности «нерадиативного теплоотвода изнутри», чем объясняется проблема низкого потока нейтрино.

Позднее интерпретация 160-минутных пульсаций намного осложнилась, когда осцилляции такого же периода проявились в магнитосфере и ионосфере Земли, а затем у галактических двойных звезд и переменных звезд типа РР Лиры в шаровых скоплениях. «Универсальный характер» таких осцилляций попытались представить как «некое неизвестное свойство гравитационного взаимодействия» [20]. Однако эта интерпретация не затрагивает вывод Козырева (его, несомненно, опровергало бы обнаружение потока нейтрино). Расчет температуры для центра Солнца в 20 млн или 6 млн град. может быть получен при предположении большей или меньшей концентрации вещества, свойства которого известны недостаточно: допускает ли оно сжатие под действием тяготения до достижения высокой температуры или же газовое и лучистое давление, возникающее внутри, не позволяет крайнее сжатие и фактическая температура недр оказывается ниже расчетной при предельных условиях. В первом случае срабатывают ядерные реакции, они и представляют источник энергии; во втором случае источник нужно искать.

В своих лекциях и частных беседах Козырев говорил, что он считает вполне вероятным существование термоядерных источников энергии внутри сверхмассивных звезд (сверхгиганты), у которых несомненна сильная концентрация вещества в глубоких недрах, с чем связана очень высокая температура, достигающая десятков миллионов градусов. Зато потеря массы и энергии сверхгигантами огромна, и фаза сверхгиганта непродолжительна: как сверхгигант такая звезда существует, возможно, сотни тысяч или миллионы лет, но не миллиарды подобно звездам главной последовательности.

Автор диссертации «нарочно ограничивается» изложением только тех выводов, которые непосредственно «вытекают из данных наблюдений». Дальнейшему их обобщению и теоретическим следствиям полученных результатов он собирался посвятить третью часть исследований. Она, по-видимому, должна была пролить свет на таинственный источник энергии, но к этому автор хотел подойти тем же индуктивным путем — от многоплановых наблюдений к выводам самого общего характера. Дело состояло в пересмотре основ механики и термодинамики, но фактического материала явно недоставало. Теория же неизбежно выводила на дедуктивный путь, на который автор тогда не хотел вступать, и третья часть не была написана.

После опубликования обеих частей диссертации работы Н. А. Козырева приобрели целенаправленный характер, что, вероятно, было мало заметно со стороны. Это не бросается в глаза и сейчас, скажем, при просмотре хронологического списка его трудов. Его поглощали поиски источника энергии, действующего беспрерывно, экономично. Если этот источник не зависит от температуры в такой мере, как ядерные реакции, то он должен проявлять себя не только в звездах, где его трудно отделить от

термоядерного, но и на планетах. Ведь планеты отличаются от звезд прежде всего малыми массами; насколько велико это различие, настолько же могут различаться масштабы выработки энергии внутри тел того и другого сорта. Остальные отличительные черты (например, физическое состояние вещества) определяются количеством выработанной энергии.

Козырев уделяет особое внимание исследованию Луны и планет. Основной метод — спектроскопический, усвоенный им в годы учения у А. А. Белопольского. Он использует каждый благоприятный случай для наблюдения той или иной планеты с учетом их расположения относительно Солнца (определенные конфигурации) и выискивает особенности в их спектрах. Но для того чтобы найти особенности, не отмеченные кем-либо ранее, необходимо проявить изобретательность. И Н. А. Козырев проявлял удивительную изобретательность в варьировании излюбленного им метода. К тому времени в Крымской обсерватории был установлен 50-дюймовый рефлектор, с помощью которого он обычно наблюдал и который стал для него привычным и удобным: с этим инструментом ученый связывал свои планы. Целенаправленность наблюдений «просвечивала» в их постановке: Козырев точно бы предугадывал то, что из них можно было получить. Свои наблюдения он обрабатывал умело и быстро, не откладывая, и также «с ходу» интерпретировал их, причем не обращал внимания на каждую деталь, а описывал только то, что ему казалось важным. Любая его работа содержала какие-нибудь новые результаты, при этом они оказывались настолько неожиданными для специалистов, что нередко требовались подтверждения со стороны других авторов, прежде чем его выводы получали признание. Но признание приходило, и Н. А. Козырев стал крупным авторитетом в области планетоведения.

В 1954 г. Н. А. Козырев опубликовал статью «О свечении ночного неба Венеры» на основе спектральных наблюдений, выполненных им в Крымской обсерватории в 1953 г. Вообще наблюдение ночной стороны планеты, обладающей мощной атмосферой,— исключительно тонкое дело: нужно ухитриться расположить надлежащим образом ее изображение на щели спектрографа с тем, чтобы полностью отрезать отраженный свет дневной стороны, который в 10 000 раз ярче свечения ночной стороны. Рассеяние света от яркого серпа планеты может служить причиной разнообразных ошибок, тем более что экспозиция должна быть продолжительной для того, чтобы запечатлеть на фотопластинке спектр слабого собственного свечения атмосферы исследуемой планеты. Козырев, будучи опытным наблюдателем, принимался иногда и за более деликатный эксперимент. Отождествление спектра ночного неба Венеры привело к обнаружению азота в ее атмосфере (в виде молекул N_2 и N_2^+) — спектральных полос, характерных для полярных сияний в земной атмосфере (с наблюдениями полярных сияний Козырев сталкивался ранее).

Английский астрофизик Б. Уорнер в 1960 г. на основе статистического анализа наблюдений Козырева подтвердил правильность отождествления азота и, кроме того, указал, что часть линий может принадлежать нейтральному и ионизованному кислороду [21]. Тем не менее заключение в пользу присутствия азота и кислорода в атмосфере Венеры оставалось под сомнением. Самому Козыреву при повторных наблюдениях больше не удалось получить те же полосы в спектре ночной стороны Венеры. Отрицательный результат, вероятно, следовало объяснить тем, что свечение ночного неба, вызываемое корпускулярными солнечными потоками, зависит от интенсивности этих потоков и глубины их проникновения в атмосферу планеты, чем и определяется различие спектров свечения в разные даты наблюдений. Именно корпускулярные потоки и позволяют зондировать на разных глубинах атмосферу планеты, которая в дневных условиях светится прежде всего за счет отражения солнечного света от сплошного и плотного облачного покрова. Окончательно присутствие азота и кислорода на Венере установлено прямыми измерениями при погружении в ее атмосферу спускаемых аппаратов (СА) автоматических межпланетных станций (АМС) «Венера-5», «Венера-6» (1969 г.) и последующих.

Наблюдения Марса в противостояниях 1954 и 1956 гг. привели Н. А. Козырева к новым выводам относительно свойств марсианской атмосферы и полярных шапок. Изучая спектры деталей планеты, он пришел к заключению, что наблюдаемое различие цветов морей и материков на Марсе может быть объяснено оптическими свойствами марсианской атмосферы. По поводу этого заключения резко возражал Г. А. Тихов [22]. Научный спор остался нерешенным. Относительно «полярных снегов» Козырев впервые высказал соображение, что наблюдавшаяся в 1956 г. полярная шапка представляла собой атмосферное образование и имела сходство с «вечерними образованиями», которые иногда приводили к некоторому увеличению яркости на вечернем краю планеты; то и другое находило объяснение как подобие «изморози в воздухе». К аналогичному выводу независимо пришли Н. П. Барабашев и И. К. Коваль (1956 г.), а несколько позднее А. И. Лебединский и Г. И. Салова (1960 г.).

Планомерно наблюдая планеты земной группы, Н. А. Козырев еще более систематично обследовал различные районы лунной поверхности, используя тот же телескоп в сочетании со спектрографом. Цель обследований прямая, хотя нигде не объявленная,— поиски проявлений эндогенных сил, которые, как он полагал, должны непременно существовать у Луны.

Еще в начале XIX века В. Гершель сообщал о наблюдении вулканов на Луне. Позднее Ф. Араго показал несостоятельность такого сообщения. Действительно, визуальные телескопические

3 Заказ № 23

наблюдения не позволяют увидеть извержение лунного вулкана, так как при отсутствии атмосферы извержение не сопровождается воспламенением. Тщетные поиски вулканизма и каких-либо изменений на лунной поверхности уже в середине прошлого века привели к убеждению, что Луна — мертвое тело. Козырев придерживался противоположного мнения. Его убеждение исходило из собственного вывода о существовании «холодного источника» энергии в недрах звезд и планет. Звездам посвящена его диссертация, относительно темных, несветящихся тел он высказывался в 1950—51 гг. в статьях «Возможная асимметрия в фигурах планет» и «О внутреннем строении больших планет».* Высказывался небездоказательно, но осторожно; в первой статье — только намеками, во второй — путем переноса на звезды вывода о планетах (понимать надо также ценность прямого вывода): «Высокая температура внутри больших планет подтверждает полученный нами из анализа внутреннего строения звезд вывод о том, что свечение небесных тел имеет совершенно особую природу и не связано с ядерными реакциями».

Принципиально Луна не отличается от планеты, значит, вывод подходит и к ней. Поиск внутренней энергии целесообразен. Приходит в действие дедуктивный метод — от утверждения общего характера к частному случаю. Если внутренняя энергия у Луны имеется, то выход ее наружу может быть как повсеместным в форме собственного теплового излучения, так и локальным в виде вулканических извержений, прежде всего газа, появление которого должен зарегистрировать спектрограф. Трудность таких наблюдений заключается в том, что момент регистрирования должен приходиться близко ко времени извержения, так как выброшенный газ будет быстро исчезать с поверхности из-за отсутствия атмосферы и слабого притяжения на Луне. При свойственных для Луны температурах (и температурах извержений земных вулканов) газ непременно должен быть молекулярным, благодаря чему его свечение под воздействием солнечных лучей наложится характерными полосами на линейчатый спектр Солнца, отражаемый Луной. Методика наблюдений безупречна и отработана тщательно.

Описываемую методику Козырев применил к изучению люминесценции лунных образований и нашел, что люминесцентные свойства присущи белому веществу лучевых систем. Эти системы привлекали внимание исследователя как образования сравнительно молодые, предположительно вулканического происхождения. В 1955 г., в одну из дат наблюдений, система кратера Аристарх выделялась повышенной люминесценцией, превышающей нормальную в четыре раза. Внезапное усиление свечения можно было объяснить действием корпускулярного потока, поскольку световой поток от Солнца изменяется плавно и зависит только

* См. с. 155—164 настоящего издания.

от наклона солнечных лучей к освещаемой поверхности. Значит, определенная доля люминесценции может быть вызвана корпускулярным облучением, а так как потоки корпускул (заряженных частиц) отклоняются магнитным полем, то люминесценция должна наблюдаться также на неосвещенной части лунного диска, что фактически не отмечается. Следовательно, «у Луны нет магнитного поля» [23].

Этот лаконичный и немаловажный вывод сделан за три-четыре года до запусков к Луне первых автоматических станций (1959 г.). Вывод оставался никем не замеченным. Заключение об отсутствии магнитного поля у Луны считается важным достижением космонавтики. Также в стороне Козырев остался, когда результаты полетов космических аппаратов рассеяли сомнения насчет правильности интерпретации спектра свечения ночной стороны Венеры. А разве не целесообразнее было бы, если разработчики аппаратуры для АМС учитывали бы результаты наземных наблюдений при решении конкретных задач космических исследований. Н. А. Козырев не был к ним привлечен. Сам он тоже не придавал значения своим результатам, полученным как бы мимоходом. Он подходил к своему пятидесятилетию, а основная задача — получение достаточного количества фактов для установления природы и свойств таинственной энергии — еще не была решена. Не изменяя главной цели, он сворачивает с ранее избранного индуктивного пути в своих исследованиях.

5

Последние годы пятидесятых. Нагромождение событий — и всеобъемлющих, в мировом масштабе, и несравнимо менее значительных, в личном плане. Козырев почти не интересовался политическими событиями, но отзвук их дошел до него и персонально: в июле 1957 г. Военной коллегией Верховного Суда СССР Н. А. Козырев был реабилитирован «по вновь открывшимся обстоятельствам» и «за отсутствием состава преступления» [24]. Реабилитация неполная: временно «забыли» о решении Таймырского суда, но и оно будет отменено через полгода — реабилитация окончательная. В августе 1957 г. Козырев переведен на работу в Главную астрономическую обсерваторию АН СССР (перевод внутриведомственный, по его просьбе). Он получил квартиру в Ленинграде, у него начала складываться семья. В Пулкове он приобрел возможность организовать лабораторию, где будут продолжены научные эксперименты для проверки собственных идей.

Событие мирового значения — Международный геофизический год (МГГ), в течение которого предпринимаются всеми странами глобальные исследования планеты Земля; он будет продлен еще на год и получит название Год международного сотрудничества (МГС). За период интенсивных геофизических

исследований приобретут особую важность любые наблюдения планет, которые занимают Козырева с 1950 года. Американцы объявили о запуске в период МГГ искусственного спутника Земли (ИСЗ); Советский Союз без объявления запускает спутник 4 октября 1957 г.— на четыре месяца раньше, чем США. Рождается «космическая эра» и новая отрасль науки — экспериментальная астрономия — исследование Луны и планет ракетными средствами.

В августе 1958 г. в Москве происходила X Генеральная ассамблея Международного астрономического союза (МАС). Делегаты съезда и иностранные гости числом более 1200 посетили Ленинград и Пулково. Н. А. Козырев — член МАС, он — среди делегатов. К съезду вышла в свет его небольшая книга «Причинная или несимметричная механика в линейном приближении» (ротапринтное издание). Название не случайное: книга действительно посвящена проблеме создания новой механики, основанной не на равенстве действия и противодействия, т. е. не на симметрии взаимодействующих сил, а на асимметрии и необратимости причин и следствий, связь между которыми устанавливается последовательностью во времени, его направленностью, причем физическое время выступает, таким образом, в качестве «движущей силы» или носителя энергии. Вот как проясняется тайна «неядерного источника».



Н. А. Козырев в домашней обстановке.

Раскрываются силы вселенского характера — силы, действующие повсюду и постоянно. Наряду с пересмотром законов механики речь идет также о пересмотре мировых законов термодинамики. Рассуждения таковы: применяя физические законы к объяснению явлений звездного мира, мы неизбежно распространяем действие второго начала термодинамики на всю Вселенную, но его следствием была бы полная деградация — тепловая и радиоактивная смерть, никаких признаков которой мы, однако, не наблюдаем. Еще быстрее деградация должна была бы наступить для отдельных астрономических объектов, в частности для звезд, которые можно рассматривать как изолированные системы, не получающие поддержки извне, а тогда в нашем окружении должны были бы преимущественно наблюдаться вымирающие тела, но фактически таковые неприметны. Не можем мы признать и то, что Вселенная очень молода; также не слишком молоды звезды, в частности наше Солнце, даже планеты. Скорей всего все космические тела непрерывно омолаживаются. Следовательно, «в природе существуют постоянно действующие причины, препятствующие возрастанию энтропии». Как постоянно препятствующий, повсеместно действующий и всеобъемлющий фактор снова выступает физическое время, которое «в силу своей направленности может совершать работу и производить энергию». Как говорят, время старит, но, по Козыреву, оно же и омолаживает... при «известных условиях», вернее, пока никому не известных.

Во всяком случае, «теория времени» Козырева замечательна. Она затрагивает сложные философские вопросы и фактически по-новому, вполне конкретно, ставит проблему «четвертого начала» термодинамики — организующего, противодействующего второму началу — также повсеместно и постоянно проявляющегося. Может быть, его теория противоречит закону сохранения материи — энергии (это еще не доказано, хотя и ставилось в упрек Козыреву), зато она не выдвигает каких-либо условий об ограниченности Вселенной в пространстве, начала и конца всего существующего. Короче говоря, она материалистична.

Теория, в общем, сложна, хотя почти свободна от математических формул. Настоящий сборник содержит ее полное изложение в первоначальном виде, а также статьи, включающие последующие уточнения и доработки. Приложением служит статья Л. С. Шихобалова, помогающая уяснить исходные позиции и отдельные положения теории. Рассуждения Козырева отошли от принципа индукции, на который вначале полагался автор; они зиждятся на его интуиции. Интуитивно он пришел к убеждению, что время порождает энергию неядерного происхождения, к доказательству выработки которой в небесных телах он шел индуктивным путем. Использование интуиции — вполне принятый в науке и законный путь, причем он имеет известные преимущества: если для индуктивного метода требуется обилие фактов и

примеров, то для интуиции достаточно одного-двух фактов, наиболее существенных, подсказывающих основополагающую идею, которая затем должна быть развита и подкреплена всеми доступными примерами. Так и поступил Козырев в расчете на то, что убедительные факты еще появятся.



Н. А. Козырев в конце шестидесятых годов.

Одно из наиболее надежных подкреплений теории пришло вскоре, как по заказу. Ранее отмечалось, что Н. А. Козырев на протяжении ряда лет систематически обследовал Луну спектральным методом в поисках проявлений эндогенных процессов. Регулярно просматривая новые поступления научной литературы, он обратил внимание на статью американского астронома

Д. Олтера в «Публикациях Тихоокеанского астрономического общества» (апрель 1957 г.), где сообщалось о появлении дымки, иногда замывающей детали внутри кратера Альфонс. Именно на этот кратер Козырев направил спектрограф и не безрезультатно: 3 ноября 1958 г. он получил спектрограмму, свидетельствующую о выбросе газа из центральной горки кратера. Явление продолжалось в течение получаса и удачно было схвачено. Результат долгожданной удачи означал открытие вулканизма на Луне — первое доказательство наличия планетного вулканизма.

Однако признание открытия, несмотря на документальность наблюдения, пришло далеко не сразу. Статья Н. А. Козырева, иллюстрируемая уникальной спектрограммой и содержащая подробное описание методики и обстоятельств наблюдений, опубликована в американском журнале Sky and Telescope. Этому предшествовали сообщения корреспондентов в советской прессе. Непредвиденно в обсуждение публикаций вмешались ученые США (Г. Юри, Д. Койпер), точка зрения которых относительно формирования рельефа Луны была диаметрально противоположной: по их убеждению, на Луне действуют только экзогенные силы, и все особенности лунного рельефа возникли в результате соударений с метеоритами и планетезималями. Никакого вулканизма на Луне нет и не было в прошлом. Тогдашний руководитель лунно-планетных исследований в США Д. Койпер в письме директору Пулковской обсерватории А. А. Михайлову по поводу нашумевшего открытия Козырева резко заявил, что опубликованная спектрограмма — просто подделка. Демонстрация подлинной спектрограммы при встрече Козырева с Койпером на Международном симпозиуме по исследованию Луны, происходившем в Пулкове в первой декаде декабря 1960 г., изменила грубое суждение американского ученого, но не поколебала его убеждений. Они оказались поколебленными лишь после доставки на Землю лунных грунтов экипажем корабля «Аполлон-11» (июль 1969 г.), когда впервые осуществилась высадка двух человек на поверхность Луны (Н. Армстронг и Э. Олдрин при участии М. Коллинза с окололунной орбиты). Доставленные лунные грунты преимущественно состояли из пород вулканического происхождения. Лучшего доказательства не требовалось.

Последовавшие решения можно расценивать как восстановление справедливости. Первой отозвалась Международная академия астронавтики (МАА): на годичном собрании в Клоудкрофте (шт. Нью-Мексико, США) в конце сентября 1969 г. она приняла решение о награждении профессора Н. А. Козырева именной золотой медалью с вкрапленными семью алмазами, изображающими ковш Большой Медведицы. Награждение мотивировано формулировкой: «За замечательные телескопические и спектральные наблюдения люминесцентных явлений на Луне, показывающие, что Луна все еще остается активной планетой, и стимулирующее развитие люминесцентных исследований

в мировом масштабе». Почти год спустя академик Л. Н. Седов как вице-президент Международной астронавтической федерации (МАФ, куда входит МАА), вручая Н. А. Козыреву награду, сказал: «Такая медаль присуждена пока только двум советским гражданам — Ю. А. Гагарину и Вам».

В декабре 1969 г. Комитет по делам открытий и изобретений при Совете Министров СССР присудил Н. А. Козыреву диплом об открытии «тектонической активности Луны». Годом раньше диплом об открытии внутренней энергии Луны был выдан В. С. Троицкому (Горьковский радиофизический институт). Радиоастрономические наблюдения Луны, проводившиеся В. С. Троицким на протяжении ряда лет с помощью разработанного им прецизионного метода регистрации слабых сигналов, позволили обнаружить энергетический поток, непрерывно текущий наружу через лунную поверхность. Интерпретация наблюдений приводила к заключению о наличии температурного градиента с проникновением в более глубокие слои (радиоизлучение различных частот) и о крайне малой теплопроводности внешних слоев лунной поверхности. Эти выводы также подтвердились полностью непосредственными измерениями с помощью аппаратуры, установленной на Луне. Иными словами, Луна на самом деле не мертва, а продолжает оставаться активным небесным телом.

Другой вопрос: откуда происходит эта активность? Подтверждает ли она теорию Козырева, основанную на предположении о превращении времени в энергию? (Постулаты причинной механики сформулированы иначе, но в целом они сводятся к предположению, что время служит основой для непрерывной выработки энергии внутри небесных тел.) С опубликованием его книги многих захватили и увлекли рассуждения о физических свойствах времени общего и частного характера. Дискуссии по поводу идей Козырева появились в советской и иностранной печати. Ленинградский физик и публицист Вл. Львов написал ряд статей под броскими названиями вроде «Революция в физике продолжается» («Литературная газета» от 24 сентября 1959 г.). Резко критиковавший идеалистические теории Запада, физик-литератор высоко оценивал достижения Козырева. Известная писательница Мариетта Шагинян поместила в «Литературной газете» (от 3 ноября 1959 г., в годовщину открытия Козырева) большую статью на три подвала под названием «Время с большой буквы», на что последовало контрвыступление в газете «Правда» (от 22 ноября 1959 г.) академиков Л. А. Арцимовича, П. Л. Капицы, И. Е. Тамма «О легкомысленной погоне за научными сенсациями». Само название говорило о критическом характере статьи по поводу «переворота в науке, будто бы совершенного профессором Н. А. Козыревым». На публикацию в «Правде» отозвался английский журнал New Scientist (Лондон, 26 ноября 1959 г.) солидным обзором доктора Т. Маргерисона

«Причинная механика — русский научный спор», в котором добросовестно пересказано содержание книги Козырева и сделано заключение: «Еще рано говорить о том, обладает ли физическим смыслом новая концепция времени или же она является бессмыслицей... Собственные публикации Козырева не содействуют прояснению вопроса, так как им недостает ясности и подробностей. Но независимо от того, выдержит ли гипотеза Козырева испытание критикой или нет, его подход отмечен новизной, которая не может не стимулировать мысль физиков».

Автор «Причинной механики» считал, что как результат проявления ее законов должна наблюдаться асимметрия фигур планет. Во вращающихся телах под влиянием «потока времени» должны возникать дополнительные силы, приводящие к изменению формы тела или планеты. При «левостороннем» вращении на экваториальные массы действует сила, направленная к северу, вблизи оси вращения она направлена к югу, при этом, очевидно, должна «существовать параллель, на которой силы причинности равны нулю». В результате «северное полушарие планеты должно стать более сжатым, а южное — более выпуклым»; фигура планеты в меридиальном сечении будет представлять кардиоиду. Наибольшая деформация должна наблюдаться у Юпитера и Сатурна, поскольку они обладают большими экваториальными скоростями вращения. Проведя (совместно с Д. О. Мохначем) измерения многочисленных снимков этих планет, полученных в разных обсерваториях, автор сделал заключение о наличии у них асимметрии, предсказываемой теорией. Для выявления асимметрии формы Земли предложен опыт качания маятников с вибрирующим подвесом на разных широтах в целях определения «нулевой параллели». Опыт осуществлен автором в Ленинграде и г. Кировске (Мурманская обл.), «нулевая параллель» на широте 73° определена путем экстраполирования. Разработан ряд других лабораторных опытов для обнаружения «причинно-следственных сил»: взвешивание обычных грузов на весах с вибрирующим коромыслом при жестко подвешенном грузе на одном конце и эластичном подвесе — на другом; взвешивание быстровращающихся волчков (гироскопов) и т. п. В книге отражены результаты опытов, которые проводились до ее написания.

Для решения «русского научного спора» Бюро Отделения физико-математических наук (ОФМН) постановлением от 23 января 1960 г. назначило комиссию под председательством чл.-кор. АН СССР А. А. Михайлова по проверке теории и экспериментов Н. А. Козырева. Комиссия, состоявшая из девяти человек, разделившись на подгруппы, проводила проверку по трем направлениям: а) теория, б) эксперимент, в) проблема асимметрии планет. К работе подкомиссий привлекались также другие специалисты; в полугодовой деятельности комиссии принимал участие сам Козырев. Окончательное заключение комиссия приняла

15 июня 1960 г. [25]. Оно сводилось к следующему: а) теория не основана на четко сформулированной аксиоматике, ее выводы не развиты достаточно строго логическим или математическим путем; б) качество и точность проводимых лабораторных опытов не дают возможности сделать определенные заключения о характере наблюдаемых эффектов, в опытах недостаточно устранены различные побочные влияния; в) с целью установления асимметрии северного и южного полушарий Юпитера и Сатурна, имеющей принципиальное значение для теории, следует провести особо тщательные, объективные измерения с использованием прежних и новых, специально сделанных снимков планет; проведение новой экспедиции для проверки «широтного эффекта» имеет смысл при условии коренного улучшения аппаратуры.

К наблюдениям широтного эффекта действия «причинных сил» Козырев больше не возвращался. Проверку асимметричной формы больших планет путем измерения их фотоснимков дополнительно произвели двое сотрудников ГАО (Х. И. Поттер и Б. Н. Стругацкий) и не обнаружили ее у Сатурна. Относительно Юпитера они пришли к заключению, что кажущаяся асимметрия вследствие несимметричного расположения полос на его диске не имеет «ничего общего с геометрической асимметрией фигуры планеты» [26].

Несмотря на сильный резонанс, вызванный появлением «Причинной механики», суммарный эффект поспешной публикации все же следует считать отрицательным. Это сознавал автор книги, как понимал и то, что суть неуспеха состояла не только в недоработанности теории, но и особенно в недостаточности подкрепляющих ее факторов.

Снова — астрономические наблюдения, совершенствование теории, изобретательство в эксперименте. Запрета не наступило, но и поощрения нет, ни материального, ни морального, будто бы работа Козырева — его личное дело. Действительно, работы по причинной механике никогда не стояли среди плановых тем обсерватории, только — астрономические исследования, инициатива в которых была полной, хотя никаких преимуществ перед другими плановыми работами не предоставлялось.

Для подкрепления интерпретации лунной спектрограммы (задолго до признания ее ценности) Н. А. Козырев предпринял экспедицию на Камчатку летом 1962 г. Кроме него экспедиция состояла из небольшого отряда вулканологов исследовательской станции Ключи. Вооружение — два переносных спектрографа с питающей оптикой (объективными насадками). Восхождения на трехкилометровую высоту к кратерам со снаряжением, палатками для ночлега и укрытия от ненастий. Исследовались действующие вулканы Ключевской группы. Засняты спектры пламени и озера лавы вулкана Плоский Толбачик, спектры поглощения дымов трех вулканов. Результаты представляли несомненный интерес для вулканологов: земные вулканические

извержения при наличии атмосферы сильно отличаются от лунных. Все же Козырев провел сравнение спектров дымов с лунной спектрограммой, полученной 23 октября 1959 г., и нашел, что в ту дату он, по-видимому, наблюдал выброс дыма и поток лавы в кратере Альфонс на Луне.

Каждый год дважды, весной и осенью, Н. А. Козырев выезжал в Крым для астрономических наблюдений. Он написал еще ряд статей, не имеющих прямого отношения к основной линии его исследований. В ряду их следует назвать статью об атмосфере Меркурия, в которой он, опираясь на собственные наблюдения ночной стороны планеты, попытался рассчитать вероятность присутствия у Меркурия сильно разреженной водородной атмосферы, непрерывно образующейся за счет захвата частиц солнечного ветра. Другая статья, также основанная на наблюдениях, посвящена Сатурну и его кольцам, в которых им обнаружено присутствие водяного пара, появляющегося под влиянием «фотовозгонки». Этот термин Козырев ввел впервые, понимая под явлением фотовозгонки разрушение солнечным излучением кристаллической решетки льда, составляющего кольца вокруг Сатурна. Работа Козырева вызвала возражения американских астрономов Д. Койпера и Д. Крикшенка, истолковавших свои наблюдения присутствием в Сатурновых кольцах аммиачного льда, но позднее (1970 г.) они согласились с объяснением Козырева.

Две теоретические работы несомненно были выполнены в поддержку положений причинной механики. Статья «Внутреннее строение Юпитера», вопреки ранее появившемуся расчету о твердом ядре планеты, доказала возможность высокой температуры в центре Юпитера (165 000 К), которая при определенном предположении о его внутреннем строении приводила к тепловому потоку из недр, фактически зарегистрированному при пролетах американских АМС «Пионер-10» и «Пионер-11» (1973 г.).

Статья об особенностях физического строения компонент двойных звезд, каковые, согласно выводам автора, имеют тенденцию к сближению их спектральных классов на основе воздействия главной звезды на звезду-спутник через «поток времени», вызвала возражения В. А. Крата, тогдашнего директора ГАО, в примечаниях к публикации Н. А. Козырева [27]. Его статьи в изданиях Пулковской обсерватории стали публиковаться «в дискуссионном порядке» с соответствующей припиской. Вообще смена руководства обсерваторией в 1964—1965 гг. (директора, заместителей, ученого секретаря) не улучшила отношения к работам Козырева, скорее наоборот — усилила контроль при сокращении их обеспечения (материалами, помощью оптико-механических мастерских и др.)

Лабораторный эксперимент Козырева вступил в новую фазу: принимая во внимание крайнюю малость наблюдаемых эффектов, нужно было усовершенствовать аппаратуру и способы

регистрации, чтобы устранить влияние наблюдателя и всевозможных помех. Изобретательство и конструирование аппаратуры — забота самого исследователя. Вначале ему помогал советами Л. А. Сухарев, в осуществлении конструкций — Д. С. Усанов. С февраля 1963 г. самым надежным помощником стал В. В. Насонов (1931—1986), инженер завода «Равенство», добровольно пришедший однажды в лабораторию Козырева, а затем работавший почти ежедневно (точнее, вечерами после работы на за-



Н. А. Козырев и В. В. Насонов.

воде) на общественных началах, т. е. без оплаты, и вообще бескорыстно. Наиболее удачным изобретением Козырев считал крутильные (горизонтальные) весы. Они позволяли непосредственно регистрировать течение и характер разнообразных необратимых процессов: таяние снега, нагревание электрическим током и охлаждение раскаленной проволоки, быстрое испарение жидкостей(спирта, эфира), увядание растительности и т. п.

Не менее важным было внедрение мостиковой системы на основе малогабаритных резисторов, предложенной В. В. Насоновым. Вызванное необратимым процессом изменение «плотности времени», «сфокусированное» на одном из резисторов, приводит к изменению структуры активного слоя последнего, что сказывается на общем сопротивлении моста и отмечается чувствительным гальванометром. С повышением точности регистрации в 1974 г. Н. А. Козырев сам предложил произвести проверку его опытов. Комиссия Ученого совета ГАО под председательством того же А. А. Михайлова, но уже академика, нашли опыты Козырева неубедительными вследствие противоречивого и непредсказуемого характера регистрации «причинно-следственных» процессов.

Крутильные весы и мостиковые системы изменили характер астрономических наблюдений, проводившихся Н. А. Козыревым и В. В. Насоновым (как правило, Насонов сочетал свой отпуск с командировками Козырева в Крым). Подход к наблюдениям «потоков времени» от астрономических объектов имел практическую основу. Изучая экраны, Козырев установил, что лучшим материалом для экранирования посторонних влияний является алюминий. Ввиду этого зеркала с алюминиевым покрытием оказались способными отражать и фокусировать «потоки времени». Открывшаяся возможность наблюдений обычным зеркальным телескопом (рефлектором) позволила обнаружить среди астрономических объектов такие, в которых особо активно протекают процессы «превращения времени в энергию»: радиоастрономически активные галактики, источники мощного рентгеновского излучения (черные дыры?), белые карлики, нейтронные звезды. Не пропускались солнечные и лунные затмения, а также связанные с ними явления на Земле, причем последние Козырев наблюдал даже без телескопа, не выходя из помещения лаборатории, где находилась регистрирующая аппаратура.

Козырев предложил новый способ определения звездных параллаксов, сходный с тригонометрическим, но не требующий полугодовых промежутков между наблюдениями и не ограничивающий результата фактическим удалением звезды. Однако его измерения и некоторые другие выводы основывались на предположении о мгновенном распространении информации («событийного сигнала») «через физические свойства времени». Этот постулат вызвал особое раздражение у физиков и убедил многих ученых в полной неприемлемости его последних работ.

В результате носителю «физической крамолы» было предложено перейти на положение профессора-консультанта. Козырев отверг такое предложение, так как не хотел оформлять пенсию. Это можно было понять, потому что оформление пенсии для многих означает «выход в тираж погашения». Козырев, наоборот, полагал, что ему еще многое предстоит сделать, и не считал оконченным свой путь в науке. Однако «треугольник» не хотел принимать во внимание «личные соображения», и Н. А. Козырев был уволен из обсерватории 10 апреля 1979 г. по сокращению штатов. Через месяц, 15 мая, был освобожден от должности «по собственному желанию» директор обсерватории. Смена власти ничего не изменила, и Козырев, пытавшийся в Академии наук найти справедливость, до января следующего года оставался без

заработка и без пенсии, пока не принял нештатную должность консультанта. Из просмотра документов невольно напрашивается аналогия с увольнением Козырева в 1936 году.

Несколько слов о внешности и привычках Козырева. Высокого роста, хорошо сложенный, худощавый, подтянутый, гололобый, очень коротко подстриженный, с гордо поднятой головой, он походил на военного высокого ранга в отставке, хотя в армии никогда не служил. Ходил он обычно быстро, стремительно, при встрече со знакомыми любезно раскланивался на ходу или останавливался, протягивал для пожатия руку, если не спешил. Вежлив был всегда и со всеми. У телескопа и в лаборатории отличался мягкими и ловкими движениями. Много курил. В лаборатории постоянно держал горячий чай и печенье: к этому вынуждала язвенная болезнь желудка, нажитая в заключении и ставшая для него роковой.

Приезжая на наблюдения в Крымскую обсерваторию, он почти ежедневно совершал прогулки в горы и леса, окружающие пос. Научный. Уходил большей частью в одиночку: во время прогулок он размышлял. Поддерживая «спортивную форму», он каждое лето, оформив отпуск, совершал какое-нибудь путешествие: проходил на байдарке протяженный маршрут по заранее намеченной реке средней полосы России, колесил на велосипеде или мотоцикле по дорогам Ленинградской области, спускался теплоходом по Волге от Московского моря до Астрахани. Любил Киев и места русской старины, которой насыщена Ярославщина или Золотое Кольцо. Однажды (1965 г.) побывал в круизе вокруг Европы на теплоходе с короткими остановками в столичных городах, совершил туристские поездки в Болгарию, Чехословакию, Бельгию (по линии научного туризма).

Н. А. Козырев умер 27 февраля 1983 года, не дожив около полугода до своего 75-летия. Он похоронен на Пулковском кладбище астрономов. В июле того же года скончалась в канун своего 55-летия его жена (третьим браком) Римма Васильевна (урожденная Чубарова). Ее прах захоронен в той же могиле. Дети соорудили великолепный памятник родителям: массивная глыба розовато-серого гранита в виде полураскрытой книги, поставленной вертикально и глубоко перерезанной крестом; на открытых полированных страницах высечены древней вязью имена и годы жизни ушедших архитектор М. И. Бибина).

Козырев не завершил свою Теорию времени, которой он посвятил более 40 лет жизни, ему так и не удалось подкрепить ее неопровержимыми примерами. Правда, еще при его жизни американские АМС «Вояджер-1» и «Вояджер-2» при пролете сквозь систему Юпитера (1979 г.) зарегистрировали на спутнике Ио восемь действующих вулканов. Его предсказание о распространенности планетного вулканизма сбылось, хотя никто не вспомнил о провидце. Но также никто не выяснил природу вулканизма малых тел. Теория Козырева объясняет эти явления

вполне, и все же это не служит непосредственным доказательством ее правильности.

Из четверых сыновей Н. А. Козырева ни один не пошел по стопам отца, хотя старший приобрел специальность физика. Единственным наследником идей оставался В. В. Насонов. Он продолжал опыты после смерти учителя и оставил в машинописном виде несколько статей, посвященных исследованию активных свойств времени и их возможных приложений к биологии. Одновременно он подготавливал к сдаче в архив материалы деятельности Н. А. Козырева. Этот долг он выполнил. Работая с перенапряжением, Виктор Васильевич не выдержал огромной нагрузки и скончался 15 марта 1986 г.

В идеях Козырева имеется рациональное ядро. Их разработку он вел, по существу, один. Как оказалось, одному человеку не под силу поднять такой груз: для этого не хватило всей его жизни. Нужны свежие силы: идеи стоят того, чтобы их вновь поднять и разработку довести до конца. Надо думать, что публикуемое наследие первопроходчика будет с успехом использовано для дальнейших поисков энтузиастами, которые непременно найдутся.

Пулково, сентябрь—октябрь 1989 г.

Указатель литературы

1. Мартынов Д. Я. Пулковская обсерватория в годы 1926—1933. (Из воспоминаний «Полстолетия у телескопа»)//Историко-астрон. исследования. Вып. 17. М., 1984. С. 440.
2. Еремеева А. И. Основные вехи жизни и деятельности Б. П. Герасимовича//Научные семинары. (Информ. сообщ. № 19)/Комиссия по истории астрономии Астрон. совета АН СССР. М., 1969. С. 15—16.
3. Архив Гл. астрон. обсерв. АН СССР в Пулкове (ГАО). Ф. 1, оп. 2, ед. хр. 4 (Приказы по ГАО за 1935 г.).
4. Архив АН СССР (Ленинград). Ф. 703, оп. 1 (1936 г.), д. 59, л. 3.
5. Астрономия в СССР за сорок лет. 1917—1957. М., 1960. С. 217—218. Там же. С. 561—563.
6. Архив АН СССР. Ф. 703, оп. 1 (1936 г.), д. 59, л. 6.
7. Прения//Изв. АН СССР. Сер. физич. 1936. № 6. С. 752—756.
8. Архив АН СССР. Ф. 703, оп. 1 (1936 г.), д. 8, л. 4, 5, 10—15.
9. Успенская Н. В. Вредительство... в деле изучения солнечного затмения//Природа. 1989. № 8. С. 86—98.
10. Бурцев Вл. В погоне за провокаторами: Репринтное издание. М., 1989. 272 с. (М.; Л., 1928).
11. Еремеева А. И. Борис Петрович Герасимович (к 100-летию со дня рождения)//Земля и Вселенная. 1989. № 2. С. 35—41.
12. О культе личности и его последствиях: Докл. Перв. секр. ЦК КПСС тов. Хрущева Н. С. XX съезду КПСС 25 февраля 1956 года//Изв. ЦК КПСС. 1989. № 3. С. 142—143.
13. Шкловский И. С. А все-таки она вертится!//Энергия. 1988. № 6. С. 41—44.
14. Жженов Г. С. От «Глухаря» до «Жар-птицы»: Повесть и рассказы/ Послесл. ген.-лейт. юстиции в отставке Б. А. Викторова. М., 1989. 160 с.
15. Курс астрофизики и звездной астрономии/Под ред. Б. П. Герасимовича. В 2 ч. Ч. 1: Методы астрофизических и астрофотографических исследо-

ваний. 1934. 342 с.; Ч. 2: Физика солнечной системы и звездная астрономия. Л.; М., 1936. 580 с.
16. Дадаев А. Н. Первооткрыватель лунного вулканизма (к 75-летию Николая Александровича Козырева)//Физические аспекты современной астрономии. Л., 1985. С. 8—24 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 11).
17. Список диссертаций, защищенных в Ленинградском университете в 1947 г.//Вестн. Ленингр. университета. 1948. № 1. С. 167.
18. Северный А. Б. Колебания и внутреннее строение Солнца//Земля и Вселенная. 1977. № 6. С. 36—39.
19. Северный А. Б., Котов В. А., Цап Т. Т. Колебания Солнца и проблема его внутреннего строения//Астрон. журн. 1979. Т. 56. Вып. 6. С. 1137—1148.
20. Котов В. А. Период 160 минут звезд RR Lyr в шаровых скоплениях и сильно проэволюционировавших тесных двойных систем//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1986. Т. 75. С. 113—119.
21. Warner B. The emission spectrum of the night side of Venus//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1960. Vol. 121. N. 3. P. 279—283.
22. Тихов Г. А. По поводу статьи Н. А. Козырева «Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы»//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1956. Т. 16. С. 159—161.
23*. Козырев Н. А. Люминесценция лунной поверхности и интенсивность корпускулярного излучения Солнца//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1956. Т. 16. С. 148—158.
24. Архив ГАО. Личное дело Н. А. Козырева. Справка ВК Верховного Суда СССР от 12.08.57.
25. Архив ГАО. Материалы комиссии по изучению и проверке работ Н. А. Козырева, 1960 г.
26. Поттер Х. И., Стругацкий Б. Н. К вопросу об асимметрии фигур больших планет//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1962. Т. 23. Вып. 1. № 171. С. 145—150.
27. Крат В. А. Примечания к статье Н. А. Козырева «Особенности физического строения компонент двойных звезд»//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1968. № 184. С. 116.

Часть I
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АСТРОФИЗИКА

О МАССАХ ГАЗОВЫХ ОБОЛОЧЕК, ВЫБРОШЕННЫХ НОВЫМИ ЗВЕЗДАМИ

Масса газовой оболочки, выброшенной Новой, порядка 10^{-5} солнечных масс

Представление о том, что при вспышке новой звезды происходит процесс перехода из одного равновесного состояния в другое, по-видимому, теперь признано всеми. Однако состояние, наступающее после вспышки, не совсем устойчивое, так как, с одной стороны, еще имеют место небольшие изменения яркости и, с другой стороны, спектр, по крайней мере в некоторых случаях, соответствует типу Вольфа — Райе, что указывает на непрерывное истечение материи. Было бы, вероятно, правильнее назвать это состояние квазиустойчивым, что характеризует отсутствие каких-либо катастрофических изменений, подобных тем, которые происходят при вспышках.

Для исследования природы Новых имеет важное значение определение массы газовой оболочки, выброшенной при вспышке. Хотя точное определение массы газовой оболочки в высшей степени трудная задача, можно, как кажется, предложить несколько способов для, по крайней мере грубой, ее оценки.

§ 1. При вспышке Новой имеет место быстрое возрастание интенсивности непрерывного спектра благодаря расширению выброшенной оболочки.

Если температура поверхности T, то мы имеем

$$L = 4\pi r^2 \sigma T^4, \tag{1}$$

где L — светимость, r — радиус оболочки, а σ — постоянная Стефана.

Однако эта формула действительна лишь до тех пор, пока оптическая толща оболочки τ_0 большая. Если температура

Ambarzumian V., Kosirev N. Über die Massen der von den neuen Sternen ausgestoßenen Gashüllen//Zeitschrift für Astrophysik. 1933. Band 7. Heft 4. S. 320—325. Печатается по изданию: О массах газовых оболочек, выброшенных новыми звездами //Амбарцумян В. А. Научные труды: В 2 т. Ереван, 1960. Т. 1. С. 72—77.

оболочки во время расширения постоянна (как можно заключить из спектра), то яркость звезды возрастает пропорционально квадрату радиуса оболочки. Однако при расширении оболочки ее оптическая толща τ_0 уменьшается, и когда τ_0 становится меньше единицы, начинается, как мы покажем, ослабление яркости оболочки. В самом деле, для τ_0 мы имеем

$$\tau_0 = \int_{r_1}^{r} \varkappa\rho\, dr = \alpha \int_{r_1}^{r} \frac{xP_e\rho}{T^{11/2}}\, dr,$$

где $\varkappa$ — коэффициент поглощения, α — величина постоянная, P_e — электронное давление, x — степень ионизации, ρ — плотность, а r_1 и r — радиусы внутренней и внешней границ оболочки. Мы имеем

$$P_e = n_e kT; \quad \rho = nm,$$

где k — газовая постоянная, m — средняя масса атома, n_e — число электронов в единице объема и n — соответствующее число атомов. При температуре оболочки $T=7000°$ (тип F) можно принять, что все атомы в среднем однажды ионизованы и, следовательно, $x=1$, $n=n_e$. Поэтому

$$\tau_0 = \alpha k T^{-9/2} m \int_{r_1}^{r_2} n^2\, dr.$$

Заменив n через его среднее значение $\bar{n}$, получим

$$\tau_0 = \alpha k T^{-9/2} m \bar{n}^2 (r_2 - r_1).$$

Физически ясно, что линейная толщина оболочки не остается постоянной, а будет возрастать и при больших значениях r/r^* (r^* — радиус звезды) достигнет по порядку величины r. Если желательно определить только порядок величины массы, то можно $r - r_1$ заменить через r. Тогда будет

$$\tau_0 = \alpha k T^{-9/2} m \bar{n}^2 r. \qquad (2)$$

Так как из вышеупомянутых объяснений следует, что $n \sim 1/r^3$, то $\tau \sim r^{-5}$.

С другой стороны, полное излучение оболочки, оптическая толща которой значительно меньше единицы, должно определяться формулой

$$L = 4\pi r^2 \tau \sigma T^4,$$

откуда следует, что при постоянном T

$$L \sim r^{-3}, \qquad (1a)$$

т. е. яркость всей оболочки убывает.

Выведенные здесь простые формулы не могут, однако, непосредственно сравниваться с кривой яркости, так как в действительности выбрасывается не одна, а несколько оболочек и имеет место сложение многих представляемых уравнениями (1) и (1a) кривых.

Во время максимальной яркости звезды оптическая толща, очевидно, должна быть близка к единице. Следовательно, согласно (2)

$$\bar{n} = \frac{T^{9/4}}{\sqrt{\alpha k m r}}. \qquad (3)$$

Общее число атомов в оболочке поэтому

$$N = \frac{4}{3} \pi r^{5/2} \frac{T^{9/4}}{\sqrt{\alpha k m}}, \qquad (4)$$

откуда видно, что при одинаковой температуре N пропорционально $r^{5/2}$ или $L_{\max}^{5/4}$. Некоторые авторы придерживаются взгляда, что $L_{\max}$ для всех Новых (исключая «исключительные Новые» типа S Андромеды) имеет почти одно и то же значение. В этом случае масса выброшенной оболочки также приблизительно должна быть постоянной.

Если принять, что Новая в максимуме на 11^m ярче Солнца, то для максимума получается $r=10^{13}$ см.

Если подставлять снова $T=7000°$ и $\alpha=5{,}62 \cdot 10^{19}\ \chi^2/a$ (где χ — потенциал ионизации в электрон-вольтах, а a — атомный вес) и предполагать, что оболочка состоит, главным образом, из водорода или гелия (или их смеси), то получается $N = 4 \cdot 10^{50}$.

Если принять, что средний атомный вес в оболочке равен 4, что, вероятно, близко к действительности, то масса оболочки будет $\mu=2{,}6 \cdot 10^{27}$ г, т. е. величина порядка одной миллионной солнечной массы.

§ 2. Другой способ оценки массы выброшенной оболочки основывается на определении момента, когда эмиссионная полоса He^+ λ 4686 достигает максимума своей яркости.

Обыкновенно в спектрах Новых тотчас после максимума их яркости появляются эмиссионные полосы атомов с низким потенциалом ионизации (H и Fe^+) и лишь через некоторое время наблюдается полоса λ 4686 He^+, яркость которой быстро растет и позже начинает уменьшаться. Это явление может быть интерпретировано в согласии с теорией свечения туманностей следующим образом.

Температура ядра Новой растет очень быстро. Излучение ядра за границей главной серии He^+ (230 Å) будет полностью поглощаться оболочкой и создавать в последней ионизацию H^+-ионов. При рекомбинациях возникает между прочим линия

4*

λ4686. Когда повышается температура, возрастает также интенсивность ультрафиолетового излучения по ту сторону от 230 Å и вместе с ней яркость λ4686. Однако это возрастание яркости происходит лишь до тех пор, пока оптическая толща слоя ионизованного гелия в соответствующих частотах будет оставаться больше единицы и ультрафиолетовое излучение ($\lambda < 230$ Å) почти полностью будет поглощаться.

Однако при диссипации оболочки наступает момент, когда она становится прозрачной для длин волн, меньших, чем 230 Å, и тогда, несмотря на высокую температуру ядра, линия λ4686 начинает слабеть.

Следовательно, когда оптическая толща оболочки почти равна единице, линия λ4686 достигает своей максимальной интенсивности. Согласно Шугиура коэффициент поглощения He^+ иона в области от $\lambda = 230$ Å равен $0{,}12 \cdot 10^{-17}$, т. е. при оптической толще, равной единице, цилиндр с поперечным сечением 1 см^2 должен содержать в себе $8 \cdot 10^{17}$ He^+-ионов.

Мы не располагаем никакими точными фотометрическими наблюдениями максимума этой или иной линии в спектрах Новых. Однако кажется, что в случае Новой Живописца этот максимум наступил через три года после вспышки. Так как скорость расширения наиболее интенсивной оболочки Новой Живописца была 300 км/с, то радиус оболочки в момент максимума λ4686 должен был быть порядка $3 \cdot 10^{15}$ см. Отсюда следует, что общее число He^+-ионов в оболочке было порядка $3 \cdot 10^{49}$. *

Для определения всей массы гелиевой оболочки следует сюда добавить число атомов He и He^{++} (α-частиц). Число атомов He очень мало и можно им пренебречь. Число α-частиц может быть вычислено из формулы ионизации. Для этого должно быть известно число свободных электронов в единице объема. Однако, как в случае звезд типа Вольфа—Райе, спектры Новых указывают на то, что в их оболочках гелий присутствует в значительно больших количествах, чем водород. Это говорит о том, что в первом приближении все свободные электроны могут считаться оторванными от атомов гелия, и легко понять, что дважды ионизованные атомы гелия будут находиться в большинстве. Поэтому

$$n_e = 2n_\alpha,$$

где n_α — число α — частиц в кубическом сантиметре.

Тогда формула ионизации примет вид

$$2\,\frac{n_\alpha^2}{n_{He^+}} = W \cdot 1{,}22 \cdot 10^{15} T^{3/2} e^{-\frac{620\,000}{T}}, \qquad (5)$$

где n_{He^+} — число He^+-ионов в 1 см^3 и W — множитель дилюции:

$$W = \frac{1}{4}\left(\frac{r_*}{r}\right)^2.$$

* В немецком оригинале $2 \cdot 10^{49}$.

Согласно вышеизложенному мы имеем $n_{He^+} = \frac{8 \cdot 10^{17}}{3 \cdot 10^{15}} = 270.$

Кроме того, при $r_* = 10^{11}$ см (звезда карлик!) $W = 0{,}25 \times \times 10^{-9}$.

Если принять $T = 62\,000°$, что соответствует звездам Вольф—Райе с яркой полосой λ4686, то из (5) получится $n_\alpha = 1{,}8 \cdot 10^5$.

Следовательно число He^+-ионов действительно мало по сравнению с числом α-частиц.

Полное число атомов He (в различных состояниях ионизации) во всей оболочке будет $N = 10^{52}$, что в 25 раз больше, чем число, найденное первым способом.

Недостаток этого метода состоит в том, что момент максимальной яркости линии λ4686, испускаемой оболочкой, определяется недостаточно точно не только из-за переменности непрерывного спектра, с которым обыкновенно сравнивается яркость, но также вследствие того, что звезда через некоторое время после вспышки превращается в звезду Вольфа—Райе с относительно яркой линией λ4686. Как раз в случае Новой Живописца наблюдения не дают возможности отделить друг от друга эти два максимума. Поэтому вышеприведенное число следует значительно уменьшить. Весьма вероятно, что действительная масса оболочки порядка $\frac{1}{100\,000}\odot$.

Метод § 2 был уже применен, по существу, Занстра к планетарным туманностям, и их массы оказались равными 0,01 солнечной массы. Следовательно, массы планетарных туманностей в несколько тысяч раз больше масс оболочек, выброшенных Новыми. Кажется, что основное различие между этими двумя объектами состоит как раз в их массах.

В заключение можно упомянуть, что оба равновесные состояния Новой до и после ее вспышки отличаются друг от друга по своей массе незначительно.

ЛУЧЕВОЕ РАВНОВЕСИЕ ПРОТЯЖЕННОЙ ФОТОСФЕРЫ

1. Объяснение аномальных цветовых температур звезд раннего типа может быть найдено либо в селективном поглощении света в межзвездном пространстве, либо в особенностях физического строения атмосфер и фотосфер этих звезд. Имеющиеся в настоящее время данные наблюдений могут быть приведены в согласие с позиций обеих точек зрения. Однако нам кажется, что согласно некоторым наблюдательным данным объяснение, учитывающее особенность самой звезды, является более естественным. Мы имеем в виду статистическую корреляцию (найденную Герасимовичем) между аномальными температурами звезд раннего типа и их абсолютными величинами; затем некоторую тенденцию звезд В-типа с эмиссионными линиями (Ве) в сторону больших значений колор-индексов; и, наконец, значительную разницу между температурами (на которую указал В. Амбарцумян), вычисленными методом Занстра по линиям водорода и по линиям ионизованного гелия для звезд типа Вольфа—Райе. Последний пункт, именно завышение температуры, вычисленной по линиям HeII, над таковой, вычисленной по водородным линиям, вряд ли можно объяснить недостаточным поглощением водорода. Это скорее указывает на отклонение характера излучения звезд типа Вольфа—Райе от закона Планка в далекой ультрафиолетовой части спектра.

Связывая аномальные цветовые температуры звезд В-типа с особенностями их физического строения, мы попытаемся найти причину этой аномалии в отклонении кривой распределения энергии от формулы Планка. Теория лучевого равновесия фотосферных слоев, которая хорошо объясняет спектры нормальных звезд, приводит к закону планковского распределения в предположении, что коэффициент поглощения не зависит от длины волны. Кажется неправдоподобным, чтобы коэффициент поглощения как функция длины волны мог бы существенно различаться от одной звезды к другой. Если мы обычно принимаем гипотезу поглощения серого тела, когда имеем дело с определенными типами звезд, то казалось бы более естественным предположить о возрастании поглощения в ультрафиолетовой части спектра. В этом случае, как легко видеть, мы имеем не избыток излучения, а наоборот, недостаток его. Сохраняя гипотезу серого поглощения, мы можем получить ультрафиолетовый избыток путем предположения, что температура во

Kosirev N. A. Radiative Equilibrium of the Extended Photosphere// Monthy Notices of the Royal Astronomical Society. 1934. Vol. 94. N 5. P. 430—443. Перевел с англ. А. Н. Дадаев.

внешних слоях звезды возрастает как функция оптической глубины значительно быстрее, чем это следует из обычного толкования лучевого равновесия фотосферных слоев. Можно подумать, что распределение температуры у некоторых звезд устанавливается не при условии лучевого равновесия, но при некотором ином условии, таком, как конвективное равновесие. Однако перенос радиации в звездах играет столь существенную роль, что даже при таких огромных скоростях потока материи, какие наблюдаются у звезд Вольфа—Райе, конвективный перенос тепла не может существенно изменить распределение температуры, задаваемое условием лучевого равновесия [1].* С другой стороны, вычисления показали, что температурный градиент при адиабатическом равновесии не может удовлетворительным образом объяснить характер спектра таких аномальных звезд, как, например, P Cygni.

Из вышеприведенных соображений следует, что для объяснения аномалий цветовых температур звезд раннего типа представляется наиболее рациональным сохранить условие лучевого равновесия при гипотезе серого поглощения. Для фотосферных слоев нормальных звезд теория лучевого равновесия дает следующую зависимость чернотельного излучения B от оптической глубины τ:

$$B = B_0\left(1 + \frac{3}{2}\tau\right). \qquad (1)$$

Эта формула справедлива в предположении, что радиус кривизны фотосферных слоев бесконечен. Принимая, однако, что внешние слои крайне протяженны, т. е. радиус r заметно меняется с оптической глубиной τ, функция $B(\tau)$ более не будет представлена формулой (1). В этом случае температурный градиент будет гораздо более значительным, чем это следует из формулы (1), и мы приобретаем возможность получить аномальное распределение энергии в спектре. Тот факт, что некоторые звезды раннего типа могут обладать чрезвычайно растянутыми фотосферами, кажется вполне естественным. У звезд типа Вольфа—Райе и P Лебедя поток вещества может начинаться с очень большой оптической глубины, а так как при выбросе вещества плотность возрастает очень медленно с глубиной, то изменение оптической глубины будет происходить при значительном изменении радиуса. Может быть, некоторые звезды типа Ве представляют аналогичные примеры. Наконец, звезды типа В с абсорбционными спектрами и аномальными цветовыми температурами, возможно, также являются объектами

---

* Из-за отсутствия достаточных данных относительно физических условий во внешних слоях звезд Вольфа—Райе в указанной статье отмечено, что эти звезды, возможно, следует рассматривать как исключение к сделанному выводу. Однако, основываясь на результатах § 7 настоящей статьи, нетрудно видеть, что температурные условия для звезд Вольфа—Райе определяются лучевым равновесием.

с чрезвычайно растянутыми фотосферами благодаря своеобразным условиям их равновесия. Вышеупомянутые эффекты абсолютной величины, может быть, имеют отношение к этому рассуждению.

2. Рассмотрим теперь задачу лучевого равновесия внешних слоев звезды, предполагая эти слои сферическими, а их радиус заметно меняющимся с изменением оптической глубины. Уравнение переноса лучистой энергии

$$\frac{dI}{ds} = \varkappa\rho B - \varkappa\rho I$$

может быть переписано для данного случая в форме

$$\cos\theta \frac{\partial I}{\partial r} - \frac{\sin\theta}{r} \frac{\partial I}{\partial\theta} = \varkappa\rho B - \varkappa\rho I. \quad (2)$$

В этой формуле I — интенсивность радиации, проходящей в направлении элемента пути ds, $\varkappa$ — коэффициент поглощения, ρ — плотность, а θ — угол между направлением луча и нормалью к поверхности слоя в заданной точке. Условие лучевого равновесия дает

$$B = \frac{1}{4\pi} \int I\, d\omega. \quad (3)$$

Рассматривая $\varkappa$ и ρ как известные функции радиуса, мы можем получить зависимость между B и r из уравнений (2) и (3). Точное решение этой задачи весьма сложно. Мы произведем некоторые упрощения, следуя Эддингтону. Введем следующие обозначения:

$$J = \frac{1}{4\pi} \int I\, d\omega, \quad H = \frac{1}{4\pi} \int I \cos\theta\, d\omega, \quad L = \frac{1}{4\pi} \int I \cos^2\theta\, d\omega.$$

Интегрируя уравнение (2) по всем телесным углам и принимая во внимание условие (3), мы легко получим

$$\frac{dH}{dr} + \frac{2}{r} H = 0.$$

Отсюда

$$H = a/r^2 \quad (4)$$

— результат очевидный — а именно тот, что для сферы поток радиации в предположении лучевого равновесия обратно пропорционален квадрату радиуса (a в этой формуле представляет некоторую постоянную). Умножая обе части уравнения (2) на $\cos\theta$ и интегрируя это уравнение по $d\omega$, мы находим

$$\frac{dL}{dr} + \frac{1}{r} J - \frac{3}{r} L = -\varkappa\rho H. \quad (5)$$

Используя уравнения (4), (5) и условие лучевого равновесия

$$B = J, \quad (6)$$

мы можем теперь получить приблизительное решение нашей проблемы. Для заданной точки в звезде обозначим через I_1 среднюю интенсивность излучения, выходящего наружу сквозь тангенциальную площадку, проведенную через эту точку касательно к сферическому слою, а через I_2 среднюю интенсивность излучения, идущего внутрь. Тогда, следуя Эддингтону, мы можем написать приближенные уравнения

$$J = \frac{1}{2}[I_1 + I_2], \quad H = \frac{1}{4}[I_1 - I_2], \quad L = \frac{1}{3} J. \quad (7)$$

В этом случае мы получим из уравнения (5)

$$J = -3 \int H\varkappa\rho\, dr.$$

Запишем

$$d\tau = -\varkappa\rho\, dr,$$

тогда

$$J = 3 \int_0^\tau H\, d\tau + C.$$

Постоянная C определяется условием, что когда $\tau = 0$, $J = 2H_{\tau=0} = 2H_0$. Значит, используя формулы (6) и (4), мы находим

$$B = \frac{2a}{R^2} + 3a \int_0^\tau \frac{d\tau}{r^2}, \quad (8)$$

где R есть радиус при $\tau = 0$. При малых изменениях радиуса эта формула эквивалентна формуле (1). Формула (8) представляет приближенное решение нашей задачи.

Предположим, например, что во внешних слоях звезды r и τ связаны зависимостью типа

$$\frac{1}{r^2} \sim \tau^n. \quad (9)$$

В этом случае $\tau = 0$ на бесконечности, т. е. когда $R = \infty$, и первый член в правой части формулы (8) исчезает. Поэтому в случае пропорциональности типа (9) мы имеем следующую зависимость между температурой T и оптической глубиной:

$$T = T_1 \tau^{\frac{n+1}{4}}. \quad (10)$$

Здесь T_1 — температура фотосферы при $\tau = 1$.

3. Для того чтобы получить зависимость r от τ, мы должны знать обстоятельства образования протяженной фотосферы. Исследуем здесь только весьма простой случай, а именно

образование протяженной фотосферы благодаря потоку вещества из звезды. Принимая фотосферу такого рода динамически стабильной, можем легко видеть, что в этом случае функция $r(\tau)$ будет приблизительно выражена формулой (9). В самом деле, при больших скоростях истечения мы можем рассматривать скорость потока вещества практически постоянной в пределах значительного промежутка изменения τ. Тогда из условия непрерывности мы имеем

$$\rho \sim \frac{1}{r^2}. \tag{11}$$

В этом случае $\tau=0$ только при $r=R=\infty$. Из формулы (8) мы видим, что тогда и $B=0$. Примем для коэффициента поглощения следующую зависимость от температуры и плотности:

$$\varkappa \sim \frac{\rho}{T^4} \sim \frac{\rho}{B}. \tag{12}$$

Тогда
$$d\tau \sim \frac{1}{Br^4}\,dr.$$

На основании формулы (8) мы имеем

$$\frac{dB}{dr} \sim \frac{1}{r^2}\frac{d\tau}{dr} \sim \frac{1}{r^6 B},$$

поэтому
$$B \sim r^{-\frac{5}{2}}.$$

С использованием этого выражения и выражения для τ

$$\tau = \int_r^\infty \varkappa\rho\, dr.$$

мы находим, что оптическая глубина должна зависеть от r в соответствии с законом

$$\tau^4 \sim \frac{1}{r^2}. \tag{13}$$

Таким образом, в исследуемом случае показатель n в формуле (9) равен 4. Следовательно, для фотосферных слоев, которые возникают благодаря потоку вещества,

$$T = T_1 \tau^{\frac{5}{4}}. \tag{14}$$

4. Теперь мы попытаемся определить для распределения температуры вида (14) распределение энергии в спектре. Рассмотрим луч, выходящий из звезды, направление которого про-

ходит на линейном расстоянии a от центра звезды. Интегрируя уравнение (2) и принимая во внимание, что

$$\cos\theta = \sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2},$$

мы находим следующее выражение для интенсивности $I(\lambda,\ a)$ выходящей радиации:

$$I(\lambda,\ a) = \int_a^\infty e^{-\int_r^\infty \frac{\varkappa\rho}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2}}dr} B(\lambda,\ T)\frac{\varkappa\rho}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2}}\,dr + \int_a^\infty e^{-\left[\int_a^\infty \frac{\varkappa\rho}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2}}dr + \int_a^r \frac{\varkappa\rho}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2}}dr\right]} B(\lambda,\ T)\frac{\varkappa\rho\, dr}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2}}. \tag{15}$$

Здесь функция $B(\lambda,\ T)$ определяется формулой Планка:

$$B(\lambda,\ T) = C\lambda^{-5}\left[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1\right]^{-1}. \tag{16}$$

В предыдущей формуле для $I(\lambda,\ a)$ первый интеграл соответствует излучению, исходящему от полусферы, обращенной к наблюдателю, тогда как второй интеграл соответствует излучению, исходящему от противоположной полусферы. Полная интенсивность излучения звезды $I(\lambda)$ получается путем интегрирования выражения $I(\lambda,\ a)$ по a:

$$I(\lambda) = 2\pi\int_0^\infty I(\lambda,\ a)\, a\, da. \tag{17}$$

Используя формулу (13) и выражение для τ, мы можем оценить нижеприведенное выражение, входящее в формулу (15):

$$\frac{\varkappa\rho}{\sqrt{1-\left(\frac{a}{r}\right)^2}} = \frac{c}{\sqrt{r\,(r^2-a^2)}}, \tag{18}$$

где c — некоторая постоянная. Введем вместо r переменную θ — угол между направлением от центра звезды к наблюдателю и радиусам, проведенным к заданной точке в звезде (a предполагается постоянной). Тогда выражение (15) значительно упрощается. В результате немногих простых преобразований мы будем иметь

$$I(\lambda,\ a)=\frac{c}{\sqrt{a}}\int_0^{\pi}\sqrt{\operatorname{cosec}\theta}\ e^{-\frac{2c}{\sqrt{a}}\psi(\theta)}B(\lambda,\ T)\,d\theta, \qquad (15a)$$

где

$$\psi(\theta)=\frac{1}{2}\int_0^{\theta}\sqrt{\operatorname{cosec}x}\,dx. \qquad (19)$$

Из уравнения (17) следует, что

$$I(\lambda)=2\pi c\int_0^{\infty}\int_0^{\pi}\sqrt{a\operatorname{cosec}\theta}\ e^{-\frac{2c}{\sqrt{a}}\psi(\theta)}B(\lambda,\ T)\,d\theta\,da. \qquad (17a)$$

Мы введем в это выражение вместо a оптическую глубину τ в качестве новой переменной. Из соотношения (18) следует, что

$$\tau=2c/\sqrt{r}. \qquad (20)$$

Так как $\sin\theta=a/r$, то

$$\tau=\frac{2c}{\sqrt{a\operatorname{cosec}\theta}}. \qquad (21)$$

Преобразуем переменные под знаком двойного интеграла формулы (17а), используя соотношение (21) и сохраняя переменную θ. Тогда

$$I(\lambda)=32\pi c^4\int_0^{\infty}B(\lambda,\ T)\frac{d\tau}{\tau^4}\int_0^{\pi}e^{-\tau\sqrt{\operatorname{cosec}\theta}\,\psi(\theta)}\sin\theta\,d\theta.$$

На основании формулы (20) мы видим, что постоянная c, входящая в выражение для $I(\lambda)$, может быть заменена на R_1 — радиус звезды при $\tau=1$. С помощью формул (16) и (14) мы находим окончательное выражение для распределения энергии в спектре аномальной звезды рассматриваемого типа:

$$I(\lambda)=\pi R_1^2 C\lambda^{-5}E(\lambda,\ T_1), \qquad (22)$$

где

$$E(\lambda,\ T_1)=\int_0^{\infty}\left[e^{\frac{c_2}{\lambda T_1\tau^{5/4}}}-1\right]^{-1}\Phi(\tau)\ \frac{d\tau}{\tau^4}, \qquad (23)$$

а

$$\Phi(\tau)=2\int_0^{\pi}e^{-\tau\sqrt{\operatorname{cosec}\theta}\,\psi(\theta)}\sin\theta\,d\theta. \qquad (24)$$

Эти формулы имеют вполне определенный физический смысл. Функция $\Phi(\tau)$ замещает обычный экспоненциальный фактор абсорбции, тогда как знаменатель τ^4, как видно из формулы (20), представляет величину, обратно пропорциональную площади излучающего диска.

Мы теперь выведем выражение для плотности излучения $\rho(\lambda)$ во внешних слоях звезды, т. е. тех, где $\tau<1$. Эти слои могут быть названы атмосферой звезды, поскольку именно в них образуются спектральные линии. Пренебрежем радиацией, излучаемой атмосферой звезды. Это вполне допустимо, особенно тогда, когда мы вычисляем $\rho(\lambda)$ для коротковолнового излучения. Для того чтобы вычислить $\rho(\lambda)$, мы введем в выражение

$$\rho(\lambda)=\frac{1}{c}\int I(\lambda)\,d\omega=\frac{2\pi}{c}\int I(\lambda)\sin\theta_0\,d\theta_0$$

значение $I(\lambda)$, даваемое формулой (15а). Здесь θ_0 есть угол между направлением луча и направлением нормали в исследуемой точке, а c — скорость света. При существенно большом R — расстоянии точки в атмосфере звезды от ее центра — мы получим в окончательном виде выражение для $\rho(\lambda)$:

$$\rho(\lambda)=\delta\frac{4\pi}{c}C\lambda^{-5}E(\lambda,\ T_1), \qquad (25)$$

где δ представляет собой обычный фактор дилюции:

$$\delta=\frac{1}{4}\left(\frac{R_1}{R}\right)^2. \qquad (26)$$

Мы видим, что постоянная R_1 играет роль радиуса нормальных звезд для объектов рассматриваемого типа. Другая постоянная T_1, которая равна температуре звезды на расстоянии R_1 от центра, представляет замену (эквивалент) для температуры на поверхности. T_1 может быть вычислена из сравнения формулы (22) с наблюдаемым распределением энергии в спектре звезды.

5. Теперь мы перейдем к конкретным примерам вычислений распределения энергии в спектре, используя формулы (22)—(24). Прежде всего мы должны отметить, что формула (24) содержит функцию $\psi(\theta)$, вычисляемую из уравнения (19). Таблица этой функции, построенная путем численного интегрирования, представлена ниже.

$\theta°$	θ_R	$\psi(\theta)$	$\theta°$	θ_R	$\psi(\theta)$
0°	0,000	0,000	90°	1,571	1,311
8°36′	0,150	0,387	105°	1,833	1,443
15°	0,262	0,512	120°	2,094	1,579
30°	0,524	0,727	135°	2,356	1,726
45°	0,785	0,896	150°	2,618	1,895
60°	1,047	1,044	165°	2,880	2,110
75°	1,309	1,180	180°	3,142	2,623

С помощью этой таблицы становится возможным табулировать функцию $\Phi(\tau)$, определяемую уравнением (24).

τ	$\Phi(\tau)$	τ	$\Phi(\tau)$	τ	$\Phi(\tau)$
0,0	4,00	1,8	$3{,}54 \cdot 10^{-1}$	9,0	$9{,}84 \cdot 10^{-5}$
0,2	2,92	2,0	2,77	10,0	3,42
0,4	2,22	2,5	1,52	12,0	$3{,}98 \cdot 10^{-6}$
0,6	1,67	3,0	$8{,}34 \cdot 10^{-2}$	14,0	$4{,}87 \cdot 10^{-7}$
0,8	1,28	4,0	2,76	16,0	$5{,}67 \cdot 10^{-8}$
1,0	$9{,}76 \cdot 10^{-1}$	5,0	$8{,}28 \cdot 10^{-3}$	18,0	$7{,}26 \cdot 10^{-9}$
1,2	7,51	6,0	2,68	20,0	$8{,}24 \cdot 10^{-10}$
1,4	5,82	7,0	$9{,}06 \cdot 10^{-4}$		
1,6	4,50	8,0	2,94		

В этих таблицах последние величины значений обеих функций могут оказаться не вполне надежными. С помощью таблицы функции $\Phi(\tau)$ нетрудно вычислить по формулам (23) и (22) распределение энергии в спектре для определенного значения температуры T_1. Мы проделаем эти вычисления для некоторых известных объектов.

Звезда Р Лебедя. Спектр этой звезды типа B_1 характеризуется яркими эмиссионными линиями H и HeI. Контуры линий и смещения их абсорбционных составляющих показывают, что поток вещества из этой звезды происходит со скоростями порядка 150 км/с. Большое количество непосредственных спектрофотометрических измерений распределения энергии в спектре дает значение температуры в пределах 6000°—7000° для участка спектра ст 400 до 600 мкм. Согласно Дюфаю [2] наблюдается также некоторая тенденция к возрастанию температуры с уменьшением длины волны. Поскольку спектр звезды принадлежит к типу B_1, ионизационная температура должна составлять около 18 000°. Иными словами, распределение энергии в спектре этой звезды должно быть таким, какое соответствует значению температуры около 18 000° для малых величин длин волн порядка 500—1000 Å. Измерения Билса полных интенсивностей водородных и гелиевых линий в сочетании с применением метода Занстра к атмосфере этой звезды приводят к температурам вышеупомянутого порядка [3]. Сравнение формулы (23) с данными наблюдений показывает, что хорошее согласие между теоретической и измеренной температурами может быть достигнуто, если принять $T_1=5560°$. Мы и примем это значение T_1. Ниже мы даем значения функции $E(\lambda, T_1)$, вычисленные для различных длин волн:

λ, Å	$E(\lambda, T_1)$	T
$\lambda_1=500$	$4{,}18 \cdot 10^{-8}$	$T(\lambda_1, \lambda_4)=21\,300°$
$\lambda_2=1\,000$	$3{,}61 \cdot 10^{-6}$	$T(\lambda_2, \lambda_4)=15\,100$
$\lambda_3=4\,000$	$2{,}76 \cdot 10^{-3}$	$T(\lambda_3, \lambda_4)=7\,500$
$\lambda_4=5\,000$	$7{,}14 \cdot 10^{-3}$	
$\lambda_5=5\,875$	$1{,}38 \cdot 10^{-2}$	
$\lambda_6=6\,563$	$2{,}01 \cdot 10^{-2}$	$T(\lambda_3, \lambda_6)=7\,050$
$\lambda_7=8\,000$	$4{,}3 \cdot 10^{-2}$	$T(\lambda_4, \lambda_7)=6\,000$

Значения $T(\lambda_i, \lambda_k)$, содержащиеся в третьем столбце этой таблицы, являются средними из двух $E(\lambda_i, T_1)$ и $E(\lambda_k, T_1)$, вычисленными с использованием формулы Планка. Таким образом, они представляют значения, которые наблюдатель должен оценить при изучении распределения энергии в спектре. Мы видим, что вычисленное распределение хорошо согласуется с тем, какое фактически наблюдается. Для того чтобы провести это сравнение полнее, мы должны также рассмотреть температуры, которые могут быть получены для этой звезды с применением метода Занстра. Мы будем иметь возможность сравнить наши результаты вычислений с данными Билса.

Метод Занстра в предположении чернотельного излучения, дает следующее уравнение для определения T:

$$\int_{x_0}^{\infty} \frac{x^2}{e^x-1}\,dx = \sum \frac{x^3}{e^x-1} A_\nu. \qquad (27)$$

Здесь $x=h\nu/(kT)=c_2/(\lambda T)$, x_0 — значение x при $\nu=\nu_0$, ν_0 — частота ионизации данного элемента, а A_ν представляет полную относительную интенсивность эмиссионной линии данного элемента, поделенную на длину волны линии. Ясно, что для нашего случая распределения энергии в спектре уравнение (27) должно быть заменено соотношением

$$\int_0^{\infty} \frac{\Phi(\tau)}{\tau^{1/4}} \int_{\frac{x_0}{\tau^{5/4}}}^{\infty} \frac{y^2\,dy}{e^y-1}\,d\tau = \sum x^3 E(\lambda, T_1) A_\nu. \qquad (28)$$

Это соотношение может быть получено из формулы (27), принимая во внимание тот факт, что в нашем случае выражение $(e^x-1)^{-1}$ должно быть заменено функцией $E(\lambda, T_1)$. В формуле (28) x используется для выражения $x=h\nu/(kT_1)$. В правой части этой формулы мы оставим только один член, соответствующий наиболее интенсивной линии элемента в видимой части спектра. Тогда, если T_1 дано, мы можем оценить значение A_ν, соответствующее этой спектральной линии. Вычисления

значительно упрощаются, поскольку величины для $\int_0^\infty \frac{y^2}{e^y-1}dy$ уже табулированы в статье, излагающей метод Занстра. Для водорода при принятом значении T_1 x_0 равно 32,6. Мы будем учитывать всю поглощенную ультрафиолетовую радиацию за пределами Лаймановской серии, поскольку задаем H_α (6563 Å). Тогда $A_\nu=0{,}0115$, как это видно из вычислений. Для HeI $x_0=51{,}27$. Ограничиваясь наиболее интенсивной линией 5875 Å, мы получаем $A_\nu=0{,}00111$. Используя полученные значения для A_ν, мы можем определить T по формуле (27). Эти T будут получены наблюдателем, использующим метод Занстра. Ниже представлена окончательная сводка, в которой наблюдения (данные Билсом для H и HeI) сопоставлены с результатами теоретического расчета:

Температура	Наблюден.	Теоретич.
T (He I)	25 000°	23 000°
T (H)	18 000	16 650
T (сп. фот.)	6 000	7 050

Звезды Вольфа—Райе. Это объекты с исключительно высокой поверхностной температурой, из которых выбрасывается материя. Поэтому представляет интерес выяснить вопрос, насколько удачно может быть описан их непрерывный спектр с позиций нашей схемы. Для звезд типа Вольфа—Райе наиболее типичными можно считать следующие данные. Температура, определяемая методом Занстра по линии 4686 He II, составляет 70 000° [3]. Водородные линии у этих звезд относительно слабы, и мы можем принять для температуры, вычисленной методом Занстра по H_α, значение порядка 30 000°.* Это снижение температуры для водорода соответствует разнице между температурами, определяемыми по методу Занстра для ядер планетарных туманностей по линиям ионизованного гелия и водорода (HeII и H). Непосредственные спектрофотометрические измерения распределения энергии в спектре затруднены присутствием большого количества эмиссионных полос. Все же наблюдения такого рода дают среднюю температуру порядка 17 000° [4].

Примем $T_1=50\,000°$ для типичного случая звезды Вольфа—Райе. Для такого высокого значения T_1 мы можем значительно упростить правую часть формулы (28). Из выражения (23) для $E(\lambda, T_1)$ следует, что наибольшее значение подынтегральной функции в этой формуле может быть получено при малых τ. Для таких τ мы можем просто положить $\Phi(\tau)=4$. Тогда, заменяя $x/\tau^{5/4}$ на y, мы находим

$$\underset{\text{при } x\ll 1}{x^3E(\lambda, T_1)}=3{,}2x^{3/5}\int_0^\infty \frac{y^{7/5}}{e^y-1}dy=5{,}51x^{2/5}. \qquad (29)$$

Используя формулы (28) и (29), мы можем вычислить значение A_ν для принятого значения T_1. Для HeII мы получим из вычислений $A_\nu=0{,}0330$, предполагая, что вся ультрафиолетовая радиация за пределами ионизационной частоты ($x_0=12{,}55$) суммируется в одной линии 4686. Для водорода, ограничиваясь линией H_α, мы находим $A_\nu=0{,}394$ ($x_0=3{,}140$). На основе этих данных мы можем вычислить значения температуры T_1, оцениваемые путем наблюдений:

Температура	Наблюден.	Теоретич.
T (He II)	70 000°	67 000°
T (H)	(30 000)	28 000
T (сп. фот.)	(17 000)	14 000

Цифры, стоящие в скобках, получены на основе грубых усреднений. Спектрофотометрическая температура, данная в таблице, вычислена следующим путем. Из формул (29) и (22) вытекает, что при высоких температурах распределение энергии в спектре может быть представлено пропорциональностью

$$I(\lambda)\sim\lambda^{-13/5}T^{12/5}, \qquad (30)$$

а не законом Рэлея—Джинса, согласно которому интенсивность излучения обратно пропорциональна четвертой степени длины волны. Как видно, из формулы (30) мы получим не бесконечное значение T, а некоторое определенное значение, зависящее от принятой λ, используемой при изучении распределения энергии в спектрах аномальных звезд. Цифра в вышеприведенной таблице получена для $\lambda_1=600$ мкм и $\lambda_2=400$ мкм. Экспериментальным путем вполне возможно выявить различие между законом (30) и формулой Рэлея—Джинса. Наблюдения с этой целью представляли бы большой интерес.

Из двух подробно рассмотренных случаев мы видим, что теория, излагаемая в настоящей статье, хорошо согласуется с наблюдениями, несмотря на довольно грубые предположения (постоянство скорости истекающего вещества и закона (12) для коэффициента поглощения).

* Автор выражает признательность д-ру В. А. Амбарцумяну за эту информацию.

6. Мы видели, что постоянную T_1 можно определить из распределения энергии в спектре или из относительных интенсивностей эмиссионных линий. В последующих рассуждениях будет показано, как определить эффективную температуру $T_{эф}$ звезды при условии, что T_1 известна. Как обычно, мы будем определять $T_{эф}$ по формуле

$$I = \pi R_1^2 \sigma T_{эф}^4, \tag{31}$$

где I — интегральная радиация звезды, а σ — постоянная Стефана. С другой стороны, интегрируя выражение для $I(\lambda)$ (ср. формулу (22)) с учетом λ, мы легко находим

$$I = \pi R_1^2 \sigma T_1^4 \cdot 2 \int_0^\pi \left[\frac{\sin\theta}{\psi(\theta)}\right]^2 d\theta.$$

Сравнивая эту формулу с формулой (31), мы получаем

$$T_{эф} = \sqrt[4]{A}\, T_1, \tag{32}$$

где

$$A = 2 \int_0^\pi \left[\frac{\sin\theta}{\psi(\theta)}\right]^2 d\theta = 2{,}231. \tag{33}$$

Таким образом, множитель $\sqrt[4]{A}$, с помощью которого T_1 преобразуется в $T_{эф}$, отличается, хотя и не намного, от соответствующего множителя $\sqrt[4]{2}$ обычной теории лучевого равновесия, связывающей поверхностную температуру звезды с эффективной $T_{эф}$. Например, для P Лебедя мы получим $T_{эф} = 6800°$.

С помощью формулы (31), если $T_{эф}$ известно, мы можем определить величину R_1, которую можно рассматривать как радиус звезды. С этой целью мы должны знать I, т. е. абсолютную болометрическую величину звезды. Мы покажем, каким образом можно вычислить болометрическую звездную величину, при условии что визуальная яркость звезды известна. Очевидно, необходимо определить болометрическую поправку:

$$\Delta m = m_{виз} - m_{бол}.$$

Для этого мы имеем

$$\Delta m = -\frac{5}{2} \lg P(T_1),$$

где

$$P(T_1) = \frac{\int_0^\infty V(\lambda)\, I(\lambda, T_1)\, d\lambda}{\int_0^\infty I(\lambda, T_1)\, d\lambda}. \tag{34}$$

В последней формуле $V(\lambda)$ означает кривую спектральной чувствительности глаза, а $I(\lambda, T_1)$ определяется выражением (22). В результате некоторых преобразований мы получим

$$P(T_1) = \frac{1}{A} \int_0^\infty P_b(T_1 \tau^{5/4})\, \tau \Phi(\tau)\, d\tau. \tag{35}$$

Здесь $P_b(T_1\tau^{5/4})$ представляет функцию, соответствующую планковскому распределению радиации. Значения этой функции могут быть получены из таблиц болометрических поправок, составленных для нормальных звезд. Такие таблицы составлены Эддингтоном [5] для низких температур и Пайком для высоких температур [6]. Следующая таблица поправок Δm образована с помощью указанных выше таблиц путем численного интегрирования по формуле (35).

T_1	Δm	T_1	Δm
4 000°	+0,74	20 000°	+1,51
5 000	0,80	40 000	2,28
6 000	0,80	60 000	2,80
7 000	0,84	80 000	3,16
8 000	0,91	100 000	3,49
10 000	1,04		

Сравнивая данные этой таблицы с обычными болометрическими поправками, мы замечаем для нашего случая характерное, относительно малое приращение поправок Δm и их менее регулярные изменения с ростом температуры. По этой таблице мы получаем, например, для P Лебедя $\Delta m = +0{,}80$, а для типичной звезды Вольфа—Райе $\Delta m = 2{,}54$.

7. Примем для звезд Вольфа—Райе абсолютную визуальную величину равной —3,3 [7]. Тогда из формулы (31) и аналогичной формулы для Солнца мы имеем $R_1 = R_\odot$. Если R_1 известно, то становится возможным определить также плотность фотосферных слоев звезды на оптической глубине $\tau = 1$. В самом деле, из формул (18) и (20) получается

$$\varkappa_1 \rho_1 = \frac{1}{2} R_1. \tag{36}$$

Здесь $\varkappa_1$ и ρ_1 — значения коэффициента поглощения и плотности при $\tau = 1$.

Для численной оценки коэффициента $\varkappa$ воспользуемся формулой Чандрасекара, несколько отличающейся от приближенной формулы (12), принятой нами:

$$\varkappa = \frac{5{,}62 \cdot 10^{19} \chi^2 P x}{T^{11/2} a}. \tag{37}$$

В этой формуле P — электронное давление, χ — потенциал ионизации в вольтах, a — атомный вес, x — процент ионизации. Предположим, что внешние слои звезд Вольфа—Райе состоят главным образом из гелия. Тогда при условиях, существующих во внешних слоях звезд этого типа, газ должен преимущественно состоять из ионизованных атомов гелия (HeII) и электронов. Примем следующие количественные данные: $\chi = 25V$, $a = 4$, $x = 1$, а P составит половину от величины газового давления. Тогда по формулам (36) и (37) мы находим

$$\rho_1 = \frac{6 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{R_1}} \approx 2 \cdot 10^{-10}.$$

Таким образом, мы получаем плотность порядка плотности фотосферных слоев Солнца. Принимая скорость истечения вещества $v = 1000$ км/с, мы можем вычислить $\frac{dM}{dt}$ — годичную потерю массы звездой:

$$\frac{dM}{dt} = -4\pi R_1^2 \rho_1 v \cdot 3 \cdot 10^7 \approx -10^{-5} M_{\odot}/\text{год}.$$

Если мы можем применить закон «масса—светимость» к звездам Вольфа—Райе, то их массы должны быть порядка $10 M_{\odot}$. Отсюда можно заключить, что их годичная потеря массы составляет 10^{-6} собственной массы. Следовательно, верхний предел продолжительности стадии Вольфа—Райе будет около 10^6 лет. Относительное количество звезд типа Вольфа—Райе крайне мало: одна звезда такого типа приходится приблизительно на 10^5 звезд. Общее количество звезд Вольфа—Райе, известных нам, выступает лишь немногим более за 100. Результат, полученный нами, указывающий на исключительно короткую стадию такой звезды, логически не находится в противоречии со статистическими данными. Необходимо только предположить, что явление Вольфа—Райе никоим образом не носит характер исключительности. Наоборот, расчет показывает, что многие звезды должны пройти в своей эволюции через такую стадию.

Вычислим теперь плотность Р Лебедя и количество вещества, выбрасываемого из звезды подобного типа. Примем ее абсолютную величину равной —5. Тогда $R_1 \approx 100 R_{\odot}$. Чтобы оценить количественно коэффициент поглощения, мы примем гипотезу, что водород играет основную роль в абсорбции, и примем значение ионизационной температуры порядка 15 000°. В этом случае получается $\rho_1 = 2 \cdot 10^{-12}$. Таким образом, плотность фотосферных слоев Р Лебедя значительно меньше, чем соответствующая плотность у звезд Вольфа—Райе. Принимая $v = 150$ км/с, мы получим для dM/dt величину порядка $4 \times 10^{-4} M_{\odot}$. Последняя оценка зависит в большой степени от R_1, т. е. от абсолютной величины звезды. Поэтому полученный результат просто говорит о том, что годичная потеря массы Р Лебедя несколько больше, чем потеря у звезд Вольфа—Райе.

8. Мы посмотрим теперь, может ли появиться какая-либо эмиссионная линия в спектре звезды в случае принятого закона непрерывного истечения материи. Согласно Росселанду, для атома, находящегося в атмосфере звезды ($\tau < 1$), мы, очевидно, должны сравнить возможности осуществления двух циклов переходов: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ (вероятность W_{23}) и $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ (вероятность W_{32}). Мы будем пренебрегать вынужденным излучением. Тогда из формулы (25) для плотности излучения мы имеем

$$\frac{W_{23}}{W_{32}} = \delta \frac{E_{12} E_{23}}{E_{13}}. \qquad (38)$$

Здесь E_{ik} представляет функцию E (формула (23)) для частоты ν_{ik}. Легко видеть, не прибегая к математическому доказательству, что дополнительный множитель δ в этой формуле, вообще говоря, меньше единицы. Как мы уже видели, убывание интенсивности с возрастанием ν в спектре исследуемых объектов происходит медленнее, чем это требовалось бы по закону Вина. Следовательно, если мы имеем, например, $\delta = 1/400$, то число переходов, создающих эмиссию, превзойдет более чем в 400 раз число переходов абсорбционного характера. Это произойдет при $R = 10 R_1$. Из формулы (20) следует, что для такого R оптическая глубина $\tau = 0{,}3$. Коэффициент поглощения за пределом первичных серий должен намного превосходить среднее значение $\varkappa$. Поэтому в той части атмосферы звезды, где вероятно возникают эмиссионные линии, остается вполне достаточное количество атомов для полного поглощения света за пределом серий образующихся линий данных атомов. Используя значение ρ_1, полученное выше для звезды типа Вольфа—Райе, мы находим, что число атомов, приходящихся на 1 кв. см поверхности сферы радиусом $R = 10 R_1$, равно 10^{24}. Коэффициент поглощения в расчете на один атом для крайних серий водорода равен 10^{-17}. Следовательно, $\tau^{H} \approx 10^7 (1 - x)$. Можно показать, что средний процент неионизованных атомов водорода в атмосферах звезд Вольфа—Райе не менее чем 10^{-7}. Таким образом, мы видим, что вполне возможно применять метод Занстра к водородным линиям в спектрах звезд Вольфа—Райе.

В § 1 было высказано предположение, что спектр аномальных звезд типа B с абсорбционными линиями можно исследовать с позиций теории протяженной фотосферы подобно спектрам с эмиссионными линиями. Абсорбционный спектр у звезд такого типа очевидно появляется при наличии протяженной фотосферы, но при быстром убывании плотности к краю. Возможно,

при некоторых условиях такой вид равновесной конфигурации звезды и осуществляется.

Краткий итог. В настоящей статье выдвинуто предположение, что некоторые звезды (сверхгиганты) могут обладать весьма протяженными фотосферами. Исследование проблемы лучевого равновесия во внешних слоях звезд такого рода приводит к установлению зависимости температуры от оптической глубины, которая отличается от аналогичной зависимости для фотосферы нормальной звезды. Применение этой теории к решению вопроса о распределении энергии в спектре, возможно, объясняет аномальные цветовые температуры звезд раннего типа. В качестве примеров подробно исследованы случаи возникновения протяженных фотосфер в результате истечения материи из звезд известного рода (звезды типа Вольфа—Райе и P Лебедя). Получены некоторые выводы относительно физических условий во внешних слоях этих звезд.

Указатель литературы

1. Kosirev N. Note on the Depth of Sunspots//Poulkovo Observatory Circular. 1933. N 6. P. 3—9.
2. Dufay J. C. B. La température de couleur et la courbe d'énergie de l'étoile P Cygni//Publications de L'Observatoire de Lyon. Serie I. Astronomie. 1932. T. 1, fasc. 1. P. 1—4.
3. Beals C. S. On the Temperatures of Wolf-Rayet Stars and Novae//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1932. Vol. 92. N 7. P. 684.
4. Gerasimovič B. P. Spectrophotometric temperatures of early stars// Harvard College Observatory. Circular N 339. P. 1—27.
5. Eddington A. S. The internal constitution of the stars. Cambridge, 1926. P. 138.
6. Pike S. R. The Physical Conditions in New Stars//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1929. Vol. 89. N 5. P. 538—544.
7. Payne C. H. The stars of high luminosity. N. Y.; L., 1930. P. 85. (Harvard observatory monographs; N 3).

Светлой памяти академика
Аристарха Аполлоновича Белопольского
посвящает автор

ИСТОЧНИКИ ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ И ТЕОРИЯ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЗВЕЗД

Настоящая работа представляет собой опыт индуктивного решения задачи о внутреннем строении звезд путем анализа закономерностей наблюдательной астрофизики. Условия состояния материи и энергии внутри звезд являются предметом исследования, а не предметом априорных предположений.

В первой части исследованы две основные закономерности, установленные наблюдениями: соотношение «масса—абсолютная яркость» и соотношение «период — средняя плотность Цефеид». Результаты, полученные из анализа этих закономерностей, оказались отличными от обычных представлений теории внутреннего строения звезд. Главнейшие из них следующие: 1) во всех звездах, включая даже сверхгиганты, лучевое давление не играет существенной роли, и им можно пренебрегать в сравнении с газовым давлением; 2) внутренние области звезд почти целиком состоят из водорода (средний молекулярный вес близок к $^1/_2$); 3) поглощение света обусловлено томсоновским рассеянием света свободными электронами; 4) звезды имеют структуры, близкие к политропным класса $^3/_2$.

Совокупность полученных результатов позволяет в первом приближении рассчитывать физические условия внутри звезд, исходя из наблюдаемых характеристик L, M, R. Например, для центра Солнца получается температура около 6 млн град., видимо, не достаточная для термонуклеарных реакций.

ВВЕДЕНИЕ

Энергия, посылаемая в пространство Солнцем и звездами, поддерживается особыми источниками, которые должны обеспечить свечение звезд по крайней мере в течение нескольких миллиардов лет и должны зависеть от физических условий состояния материи, как это следует из соображений устойчивости звезд. За последние годы успехи атомной физики привели к открытию термонуклеарных реакций, которые могут являться источником энергии, удовлетворяющим указанным требованиям. Эти реакции между протонами и различными легкими ядрами, в результате которых происходит преобразование водорода в гелий, могут происходить при температурах, вероятных для

Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43.

внутренних областей звезд, — порядка двадцати миллионов градусов. Сравнительное изучение различных термонуклеарных реакций привело Бете (Bethe) к заключению, что энергия Солнца и звезд основной последовательности вырабатывается в результате циклических реакций, в которых главную роль играет захват протона ядрами азота и углерода с последующим образованием ядра гелия [1]. Эта теория Бете, получившая за последнее время широкое признание, до сих пор не имеет прямых астрофизических подтверждений. Звезды, вырабатывающие особенно много энергии, т. е. звезды последовательности гигантов, вероятно, имеют температуры, значительно более низкие, чем температура, необходимая для термонуклеарных реакций. Кроме того, наличие бурной конвекции в наружных слоях звезд, вспышки новых, особенный ультрафиолетовый спектр говорят за то, что выделение энергии происходит и в наружных слоях звезд и в ряде случаев имеет характер взрывов. Естественное желание видеть во всех этих явлениях общую причину заставляет относиться с осторожностью к теории термонуклеарных реакций. Можно без преувеличения сказать, что уже в течение ста лет, начиная с контракционной гипотезы Гельмгольца (Helmholtz), ни одно новое принципиальное открытие физики не проходило без попытки применения его к объяснению звездной энергии, причем каждый раз вопрос считался решенным, несмотря на отсутствие подтверждений астрофизическим материалом. По-видимому, мы имеем дело с механизмом выделения энергии совершенно особого рода, неизвестного земной лаборатории. Но это обстоятельство нельзя относить за счет наличия внутри звезд каких-то совершенно исключительных условий. Действительно, весьма вероятно, что для ряда звезд (например, инфракрасный спутник ε Aurigae) условия внутри них близки к тем, которые могут быть осуществлены в лаборатории. Причина того, что такой тип выделения энергии не был обнаружен земным экспериментом, надо полагать, лежит в своеобразии необходимой постановки опыта, а также малости доступных на земле масштабов. Что касается физических теорий, которые столь часто позволяют далеко экстраполировать данные опыта, то их несостоятельность в данном вопросе связана, вероятно, с тем, что основные принципы теории взаимодействия материи и лучистой энергии нуждаются в дополнениях и дальнейшем развитии.

Многочисленные явления и эмпирические закономерности, открытые наблюдательной астрофизикой, связаны с вопросом происхождения звездной энергии, а потому и не имеют удовлетворительной интерпретации. В первую очередь это относится к вопросам поведения звезды в целом, т. е. к вопросам теории внутреннего строения звезд. Существующие теории строятся на основе априорных допущений относительно поведения материи и энергии в звезде, справедливость которых проверяется

из сравнений результатов теоретического анализа с данными наблюдений. Это путь построений различных звездных моделей, широко используемый в настоящее время в теории внутреннего строения звезд. Такой метод исследования вряд ли может быть плодотворным, ибо законы природы часто столь неожиданны, что можно произвести многочисленные пробы и все же не найти единственно правильного решения. Поскольку эмпирические закономерности, относящиеся к звезде в целом, выявлены наиболее четко, в теории внутреннего строения звезд можно пытаться радикально изменить постановку задачи и формулировать ее следующим образом: рассматривая звездный мир как гигантскую лабораторию, в которой материя и лучистая энергия могут изучаться в грандиозном диапазоне состояний, исходя из анализа полученных в ней эмпирических закономерностей и не делая произвольных допущений, найти условия поведения материи и энергии в звездах как некоторые неизвестные в математически сформулированных равенствах. Такая задача может казаться безнадежно трудной из-за большого числа неизвестных. Действительно, нам неизвестны: 1) фазовое состояние материи (газ Больцмана (Boltzman), Ферми (Fermi) и др.); 2) характер переноса энергии — лучеиспусканием или конвекцией, возможной при соответствующем механизме выделения энергии; 3) роль лучевого давления внутри звезд и связанное с ней; 4) значение коэффициента поглощения; 5) химический состав звезд, т. е. среднее значение молекулярного веса газов внутри звезд, и, наконец, 6) механизм выделения звездной энергии. К счастью, основная закономерность астрофизики — соотношение между массой и абсолютной яркостью звезд, не давая никакого ответа на вопрос о природе звездной энергии, удовлетворительным образом дает представление о других неизвестных. Используя далее соотношение период — средняя плотность Цефеид, можно уточнить наши представления о структуре звезд. В результате получается возможность, еще не зная природы звездной энергии, в первом приближении рассчитывать физические условия внутри звезд, исходя из наблюдаемых характеристик: L, M и R. На этой основе возможна физическая интерпретация другой закономерности астрофизики — диаграммы Ресселла—Гертцшпрунга (Russell—Hertzsprung), т. е. соотношения между эффективными температурами и абсолютной яркостью звезд, которая почти исключительно зависит от нашего последнего неизвестного. Этот анализ приводит к определенным зависимостям, характеризующим те особые условия состояния материи и лучистой энергии, при которых и происходит выделение энергии. Полученные выражения оказываются совершенно неожиданными с точки зрения теоретической физики и столь характерными, что появляется возможность исследования физической сущности процесса выделения звездной энергии.

На этом пути индуктивного решения задачи о природе звездной энергии нам неизбежно придется пользоваться определенными физическими посылками, кажущаяся очевидность которых при дальнейших исследованиях может и не подтвердиться. Это обстоятельство, однако, не порочит принятого нами чисто астрофизического метода и лишь вызывает необходимость применения естественного приема последовательных приближений; излагаемые в первой части результаты следует рассматривать как первое приближение.

Вопрос о внутреннем строении звезд чрезвычайно осложнен и запутан в многочисленных теоретических исследованиях. Поэтому в первую очередь необходимо внести в этот вопрос максимальную четкость, проведя его рассмотрение с самых основ. Наблюдения показывают, что звезда обычно находится в равновесном или квазиравновесном состоянии. Таким образом, поведение материи внутри звезд должно, хотя бы приближенно, удовлетворять условиям механического и теплового равновесия. Отсюда получаются два основных уравнения, при помощи которых и осуществляется математическая формулировка нашей задачи. В простейшей задаче мы будем пренебрегать эффектами вращения звезды и считать, что звезда обладает сферической симметрией.

Часть I

ГЛАВА 1

ВЫВОД ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ ЗВЕЗД

§ 1. УРАВНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ

Обозначим через P общее давление, т. е. сумму газового давления p и давления лучистой энергии B, на расстоянии r от центра звезды. Условие механического равновесия заключается в том, что изменение P на единицу расстояния r должно быть уравновешено весом единицы объема газа. Таким образом,

$$\frac{dP}{dr} = -g\rho, \tag{1.1}$$

где ρ — плотность газа и g — ускорение силы тяжести. Если обозначить через φ гравитационный потенциал, то

$$g = -\operatorname{grad}\varphi; \tag{1.2}$$

потенциал φ удовлетворяет уравнению Пуассона

$$\nabla^2\varphi = -4\pi G\rho; \tag{1.3}$$

гравитационная постоянная $G = 6{,}67 \cdot 10^{-8}$. В случае сферической симметрии

$$\nabla^2\varphi = \operatorname{div}\operatorname{drad}\varphi = \frac{1}{r^2}\,\frac{dr^2\operatorname{grad}\varphi}{dr}. \tag{1.4}$$

Сопоставляя эти равенства, находим следующее уравнение механического равновесия звезды:

$$\frac{1}{\rho r^2}\,\frac{d}{dr}\left[\frac{r^2\,dP}{\rho\,dr}\right] = -4\pi G. \tag{1.5}$$

Здесь

$$P = p + B. \tag{1.6}$$

Внутри звезд излучение почти изотропно. Поэтому B равно одной трети плотности лучистой энергии. Как будет видно из следующего параграфа, с достаточной степенью точности можно принять, что плотность лучистой энергии определяется законом Стефана—Больцмана. Таким образом,

$$B = \frac{1}{3}\alpha T^4, \tag{1.7}$$

где постоянная Стефана $\alpha = 7{,}59 \cdot 10^{-15}$ и T — абсолютная температура. Давление P зависит от плотности и, вообще говоря, от температуры. Характер этой зависимости определяется фазовым состоянием материи. Для идеального газа

$$p = nkT = \frac{\mathfrak{R}T}{\mu}\rho. \tag{1.8}$$

Здесь n — число частиц в единице объема; k — постоянная Больцмана, равная $1{,}372 \cdot 10^{-16}$; $\mathfrak{R}$ — постоянная Клапейрона, равная $8{,}313 \cdot 10^7$, и μ — средний молекулярный вес. Например, для обыкновенного газа Ферми давление зависит только от плотности согласно формуле

$$p = K\rho^{5/3};\quad K = \mu_e^{-5/3}K_{\mathrm{H}};\quad K_{\mathrm{H}} = 9{,}89 \cdot 10^{12}, \tag{1.9}$$

где μ_e — число единиц молекулярного веса на каждый свободный электрон. Мы видим, что распределение давлений внутри звезды может быть получено из (1.5), вообще говоря, лишь в том случае, когда известно распределение температур. Это последнее определяется условием теплового равновесия.

§ 2. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РАВНОВЕСИЯ

Обозначим через ε количество энергии, вырабатываемое в секунду единицей массы звездной материи. Величина ε может зависеть от физических условий состояния материи и, таким образом, является функцией r. Изучение ε и составляет цель нашего исследования. Условие теплового равновесия или условие энергетического баланса может быть записано следующим образом:

$$\operatorname{div} F = \varepsilon\rho, \tag{1.10}$$

где F — полный поток энергии, состоящий из потока лучистой энергии F_R, потока, переносимого конвекционными токами F_c, и потока теплопроводности F_T. Таким образом,

$$F = F_R + F_c + F_T. \tag{1.11}$$

Определим в первую очередь значение F_R. Изменение интенсивности излучения I при прохождении слоя толщиной ds согласно закону Кирхгофа имеет следующее выражение:

$$\frac{dI}{ds} = -\varkappa\rho\,[I - E], \tag{1.12}$$

где $\varkappa$ — коэффициент поглощения, рассчитанный на единицу массы, и E — излучательная способность абсолютно черного тела при температуре слоя, рассчитанная на единицу телесного угла ω. Это последнее уравнение в полярных координатах будет иметь вид

$$\cos\theta\,\frac{\partial I}{\partial r} - \frac{\sin\theta}{r}\,\frac{\partial I}{\partial\theta} = -\varkappa\rho\,[I - E]; \tag{1.12a}$$

здесь θ — угол, образованный нормалью к слою, т. е. r, с направлением излучения I. Поток F_R и лучевое давление B связаны с I следующими соотношениями:

$$F_R = \int I\cos\theta\,d\omega; \quad Bc = \int I\cos^2\theta\,d\omega, \tag{1.13}$$

где c — скорость света, и интегрирование производится по всем телесным углам. Обозначим далее

$$\int I\,d\omega = J. \tag{1.14}$$

Умножая (1.12a) на $\cos\theta$ и интегрируя по $d\omega$, имеем

$$c\,\frac{dB}{dr} - \frac{1}{r}\,[J - 3Bc] = -\varkappa\rho F_R.$$

Для получения отсюда F_R примем следующее приближение Эддингтона (Eddington):

$$3Bc = J = 4\pi E, \tag{1.15}$$

равносильное отбрасыванию производных более высоких порядков в выражении F_R. Тогда

$$F_R = -\frac{c}{\varkappa\rho}\,\frac{dB}{dr}. \tag{1.16}$$

Рассмотрим теперь конвективный поток F_c. На поверхности Солнца и звезд мы видим проявление бурной конвекции. Возможно, что эта конвекция вынужденная, связанная с внезапными выделениями энергии. Но для того чтобы конвекционные токи могли создать значительный поток F_c, они должны обладать большими скоростями и переносить энергию на большие расстояния. Эти условия будут осуществляться в зонах конвективной неустойчивости, где возможно развитие свободной конвекции. Начиная с Шварцшильда (Schwarzschild) [2], работами целого ряда астрофизиков: Унзольда (Unsöld), Коулинга (Cowling), Бирмана (Bierman) и других — было показано, что хотя равновесие звезды, вообще говоря, устойчиво, развитие свободной конвекции действительно возможно в зонах быстрого нарастания источников энергии или в зонах, где энергия ионизации порядка тепловой энергии газа.

Будем считать, что конвекционные токи радиальны. Обозначим через Q полную энергию единицы массы конвекционного тока. Следовательно, Q представляет собой сумму внутренней энергии газа, тепловой функции, потенциальной и кинетической энергии. Допустим, что в пути конвекционный ток не меняет своей энергии, т. е. изменяется адиабатически, а диссипация энергии происходит лишь при остановке тока. Тогда поток энергии, переносимый конвекцией, согласно Шмидту (Schmidt) [3] может быть представлен следующим образом:

$$F_c = -A\rho\,\frac{dQ}{dr}; \quad A = \bar{v}\bar{\lambda}. \tag{1.17}$$

Величина A представляет собой коэффициент конвекции; $\bar{\lambda}$ — средняя длина пробега конвекционного тока и $\bar{v}$ — средняя скорость тока. Если лучевым давлением можно пренебрегать в сравнении с газовым, то для идеального газа согласно первому началу термодинамики

$$\frac{dQ}{dr} = c_v\,\frac{dT}{dr} + p\,\frac{d\frac{1}{\rho}}{dr}, \tag{1.18}$$

или

$$\frac{dQ}{dr} = c_p\,\frac{dT}{dr} - \frac{1}{\rho}\,\frac{dp}{dr}, \tag{1.19}$$

где c_v — теплоемкость газа при постоянном объеме и c_p — теплоемкость при постоянном давлении:

$$c_p = c_v + \frac{\mathfrak{R}}{\mu}.$$

Обозначая

$$\frac{c_p}{c_v} = \Gamma,$$

имеем

$$c_p = \frac{\Gamma}{\Gamma - 1}\frac{\mathfrak{R}}{\mu}. \tag{1.20}$$

В результате очевидных преобразований находим следующее выражение:

$$\frac{dQ}{dr} = -\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dr}u \quad \text{и} \quad u = 1 - \frac{\Gamma}{4(\Gamma-1)}\frac{p\,dB}{B\,dp}, \tag{1.21}$$

для одноатомного газа $\Gamma = 5/3$.

Поток теплопроводности имеет аналогичное выражение вида (1.17). Поскольку частицы двигаются во всевозможных направлениях, вместо v в выражении для A будет стоять одна треть средней скорости движения частиц. В данном случае dQ/dr будет равняться лишь первому члену формулы (1.18) и, следовательно, иметь значение того же порядка, что и для конвекции. Имея в виду формулу (1.17) для A, очевидно, что F_c в подавляющее число раз превосходит F_T. Только в некоторых исключительных случаях, например для вырожденного газа, F_T может иметь существенное значение. Используя формулы (1.10), (1.16), (1.17) и (1.21), получим следующее уравнение теплового равновесия:

$$\frac{1}{\rho r^2}\frac{d}{dr}\left[\frac{r^2\,dB}{\varkappa\rho\,dr}\right] - \frac{1}{c\rho r^2}\frac{d}{dr}\left[r^2 A u\frac{dp}{dr}\right] = -\frac{\varepsilon}{c}. \tag{1.22}$$

В заключение настоящего параграфа необходимо заметить, что поскольку ε представляет собой весьма малую величину в сравнении с излучением единицы массы, то ничтожные изменения состояния материи должны привести к нарушению наших равенств. Поэтому даже для больших областей, сравнимых с размерами звезды, условие (1.10) теплового баланса может не соблюдаться. То же относится и к выражению теплового потока конвекции, ибо только для очень больших площадей можно статистически трактовать грандиозную конвекцию звезд. Поэтому полученные уравнения следует понимать как усреднение по всем радиусам звезды и за большой промежуток времени, и в этом смысле они должны обязательно выполняться. Указанные ограничения не мешают нашему анализу, поскольку нас будет интересовать общее представление о поведении звезды как целого и в ряде случаев лишь как среднее из большого числа звезд.

§ 3. ОСНОВНАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ

Чтобы фиксировать внимание на основном, начнем с рассмотрения полученных уравнений равновесия для простейшего случая, а именно: в уравнении механического равновесия будем пренебрегать лучевым давлением B в сравнении с газовым p, а в уравнении теплового равновесия — конвекционным членом. Тогда мы получим следующую основную систему:

$$\frac{1}{\rho r^2}\frac{d}{dr}\left[\frac{r^2\,dp}{\rho\,dr}\right] = -4\pi G,$$

$$\frac{1}{\rho r^2}\frac{d}{dr}\left[\frac{r^2\,dB}{\varkappa\rho\,dr}\right] = -\frac{\varepsilon}{c}. \tag{I}$$

B зависит только от температуры газа согласно формуле (1.7). Коэффициент поглощения единицы массы $\varkappa$ зависит, вообще говоря, от (p, B). Эта зависимость нам неизвестна. То же относится и к ε. Допустим теперь, что эти функции нам известны. Тогда для решения системы необходимо иметь еще уравнение состояния материи, связывающее переменные: ρ, p и B. В этом случае остаются две функции, например p и B, зависимость которых от r полностью определится уравнениями (I). Эти функции должны удовлетворять следующим граничным условиям. На поверхности звезды полный поток энергии $F_0 = F_{R_0}$; $(F_c = F_T = 0)$. Приближенно по формуле (1.13)

$$F_{R_0} = \frac{1}{2}J_0 = \frac{3}{2}cB_0,$$

откуда при помощи формулы (1.16) находим следующее условие на поверхности:

$$\text{при} \quad p = 0: \; B = -\frac{2}{3}\frac{dB}{\varkappa\rho\,dr}. \tag{1.23}$$

Из уравнений (I) видно, что условие конечности решений при $r = 0$ равносильно следующим:

$$\text{при} \quad r = 0: \; \frac{dp}{dr} = 0; \; \frac{dB}{dr} = 0. \tag{1.24}$$

Эти условия в центре звезды совершенно необходимы и безусловно выполняются в реально существующем теле. Теория внутреннего строения звезд проф. Милна (Milne) [4], основанная на решениях, не удовлетворяющих этим условиям, не означала, разумеется, отказа от этих условий для центра звезды. В слоях звезд, удаленных от центра, эти особые решения могут действительно осуществляться, но лишь в том случае, когда производные физических характеристик материи не являются непрерывными функциями расстояния, а имеют разрывы. Следовательно,

рассмотрение таких решений a priori допускает, что уравнение фазового состояния материи имеет разрыв, т. е. что материя существует в звезде по крайней мере в двух совершенно различных фазах. Только таким путем, наделяя материю гипотетическими свойствами, можно было прийти к наличию внутри звезд областей особо высоких температур и давлений. Если же не руководствоваться предвзятой точкой зрения о существовании в звездах «особенных» областей, то представляется наиболее естественным начать рассмотрение задачи при помощи обычных уравнений фазового состояния материи.

Произведем теперь весьма важное преобразование переменных в системе (I). Вместо r и других переменных введем безразмерные величины с соответствующими граничными условиями. Обозначим значком c значения функций в центре звезды ($r=0$). Вместо r введем безразмерную величину x согласно формуле

$$x = ar; \quad a = \rho_c \sqrt{\frac{4\pi G}{p_c}} \tag{1.25}$$

и введем функции

$$\rho_1 = \frac{\rho}{\rho_c}; \quad p_1 = \frac{p}{p_c}; \quad B_1 = \frac{B}{B_c}; \quad \ldots \tag{1.26}$$

Тогда, как легко проверить, система (I) преобразуется к виду

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\, dp_1}{\rho_1\, dx}\right] = -1,$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\, dB_1}{\varkappa_1 \rho_1\, dx}\right] = -\lambda \varepsilon_1, \tag{Ia}$$

где

$$\lambda = \frac{\varepsilon_c \varkappa_c}{4\pi G c \gamma_c} \quad \text{и} \quad \gamma_c = \frac{B_c}{p_c}. \tag{1.27}$$

Все входящие в систему (Ia) функции заключены в пределах 0,1. Условия в центре будут иметь вид

$$\text{при} \quad x=0: \quad p_1 = 1, \quad \frac{dp_1}{dx} = 0; \quad B_1 = 1, \quad \frac{dB_1}{dx} = 0. \tag{1.28}$$

На поверхности звезды вместо (1.23) практически мы можем пользоваться простым условием

$$\text{при} \quad x = x_0: \quad B_1 = 0; \quad p_1 = 0. \tag{1.29}$$

Напишем теперь в новых переменных систему основных уравнений с учетом конвекции. Из уравнения (1.22) находим

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\, dp_1}{\rho_1\, dx}\right] = -1,$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\, dB_1}{\varkappa_1 \rho_1\, dx}\right] - \frac{\varkappa_c \rho_c}{c \gamma_c} \frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[x^2 A u \frac{dp_1}{dx}\right] = -\lambda \varepsilon_1. \tag{II}$$

Для идеального газа из формулы (1.21) имеем следующее простое выражение для u:

$$u = 1 - \frac{\Gamma}{4(\Gamma - 1)} \frac{p_1\, dB_1}{B_1\, dp_1}. \tag{1.30}$$

Наконец, система уравнений с учетом лучевого давления (при отсутствии конвекции), как это видно из формул (1.5) и (1.6), может быть записана в виде

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2 d\,(p_1 + \gamma_c B_1)}{\rho_1\, dx}\right] = -1,$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\, dB_1}{\varkappa_1 \rho_1\, dx}\right] = -\lambda \varepsilon_1. \tag{III}$$

ГЛАВА 2

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ УРАВНЕНИЙ И СООТНОШЕНИЕ «МАССА—АБСОЛЮТНАЯ ЯРКОСТЬ»

§ 1. НАБЛЮДАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД

Из наблюдений нам известны следующие величины, характеризующие звезду: радиус звезды R, масса M и светимость звезды, или полное количество энергии, излучаемое звездой в одну секунду, L. Посмотрим, как эти величины связаны с параметрами основной системы уравнений. В систему уравнений самого общего вида при любых предположениях относительно фазового состояния материи и типа других функций будут входить лишь два параметра: B_c и p_c.

Из формулы (1.25) находим

$$R = \frac{1}{\rho_c} \sqrt{\frac{p_c}{4\pi G}}\, x_0, \tag{2.1}$$

где x_0 — значение x на поверхности звезды, т. е. там, где $p_1 = B_1 = 0$. Из этой формулы, принимая определенное уравнение состояния материи, легко получить зависимость $R = f(B_c, p_c)$. Следует заметить, что значение x_0, входящее в формулу (2.1), вообще говоря, может тоже зависеть от B_c и p_c. Однако, поскольку в систему уравнений входят функции, изменяющиеся

6 Заказ № 23

в пределах 0,1, x_0 должно быть порядка, не сильно отличающегося от единицы. Поэтому первый множитель формулы (2.1) является основным.

Так как

$$M = 4\pi \int_0^R \rho r^2\, dr,$$

то

$$M = \frac{p_c^{3/2}}{G^{3/2} \sqrt{4\pi}\, \rho_c^2} M_{x_0}, \tag{2.2}$$

где

$$M_{x_0} = \int_0^{x_0} \rho_1 x^2\, dx.$$

Наконец, полная яркость звезды

$$L = 4\pi \int_0^R \varepsilon \rho r^2\, dr,$$

откуда

$$\frac{L}{M} = \varepsilon_c \frac{L_{x_0}}{M_{x_0}}; \quad L_{x_0} = \int_0^{x_0} \varepsilon_1 \rho_1 x^2\, dx. \tag{2.3}$$

Величины M_{x_0}, L_{x_0} не должны сильно меняться при изменении P_c и B_c, сохраняя порядок, близкий к единице. Если величины x_0, M_{x_0}, L_{x_0} будут одинаковы для ряда звезд, то такого рода конфигурации называются гомологическими, и мы будем говорить, что эти звезды имеют одинаковую структуру.

Легко видеть, что средняя плотность звезды связана с ρ_c следующим соотношением:

$$\bar{\rho} = \rho_c \frac{3 M_{x_0}}{x_0^3}. \tag{2.4}$$

Найдем теперь выражение для полной потенциальной энергии звезды Ω:

$$\Omega = -G \int_0^R \frac{M_r}{r}\, dM_r.$$

Умножая под знаком интеграла на R и деля на M^2, находим

$$\Omega = -\frac{GM^2}{R} \Omega_{x_0} \tag{2.5}$$

и

$$\Omega_{x_0} = \frac{x_0}{M_{x_0}^2} \int_0^{x_0} x \rho_1 M_x\, dx.$$

При малых лучевых давлениях, пользуясь условием механического равновесия, из системы (I) имеем

$$\int_0^{x_0} x \rho_1 M_x\, dx = -\int_0^{x_0} x^3\, dp_1 = 3 \int_0^{x_0} x^2 p_1\, dx, \tag{2.5a}$$

откуда

$$\Omega_{x_0} = \frac{3x_0 \int_0^{x_0} p_1 x^2\, dx}{\left[\int_0^{x_0} \rho_1 x^2\, dx \right]^2}. \tag{2.6}$$

Так как все функции, входящие в основную систему уравнений, могут быть выражены через B_1 и p_1, то для их определения мы имеем систему двух дифференциальных уравнений с двумя параметрами B_c и p_c. Для полного описания решений условий в центре звезды (1.28) достаточно. Таким образом, поверхностное условие (1.29) будет выполняться лишь при некоторых соотношениях между B_c и p_c. Отсюда следует, что все величины, характеризующие звезду, являются функциями только одного параметра, например B_c: $R = f_1(B_c)$, $M = f_2(B_c)$ и $L = f_3(B_c)$. Это обстоятельство при одинаковом химическом составе звезд дает нам зависимости: 1) $L = \varphi_1(M)$ — масса — абсолютная яркость и 2) диаграмму Ресселла—Гертцшпрунга, т. е. $L = \varphi_2(R)$.

Из изложенного видно, что неизбежным следствием равновесия звезд является существование зависимостей между M, L и R. Таким образом, существование этих зависимостей, найденных эмпирически, могло быть предсказано теорией.

§ 2. ЗВЕЗДЫ ПОЛИТРОПНЫХ СТРУКТУР

Решение основной системы должно давать зависимости $p_1(x)$ и $B_1(x)$. Следовательно, в результате решения системы мы можем получить и $B_1(p_1)$. При заданном фазовом состоянии материи тогда может быть получена и зависимость $p_1(\rho_1)$. Допустим, что эта зависимость типа $p_1 = \rho_1^{\Gamma}$, где Γ — некоторый постоянный показатель. Такая структура звезды называется политропной. Для политропных структур можно сравнительно легко найти зависимости всех характеристик от x. Поэтому для получения первого представления о виде решений системы мы займемся рассмотрением этих структур. Первые работы по исследованию внутреннего строения звезд Эмдена (Emden) и были проведены этим путем.

Политропная зависимость как бы заменяет уравнение теплового равновесия. Остается в системе только одно первое

уравнение. Введем новую переменную T_1, которая для идеального газа равна прнведенной температуре:

$$\frac{p_1}{\rho_1} = \rho_1^{\Gamma-1} = T_1, \qquad (2.7)$$

нли

$$\rho_1 = T_1^n; \quad n = \frac{1}{\Gamma - 1} \quad \text{и} \quad p_1 = T_1^{n+1}. \qquad (2.7а)$$

Таким образом,

$$dp_1 = (n+1)\, T_1^n \, dT.$$

Подставляя эти выражения в первое уравнение (I), находнм

$$E\left[T_1'\right] = \frac{1}{x_1^2} \frac{d}{dx_1}\left[x_1^2 \frac{dT_1}{dx_1}\right] = -T_1^n, \qquad (2.8)$$

где вместо x введена новая переменная x_1:

$$x = \sqrt{n+1}\, x_1. \qquad (2.9)$$

Уравнение Эмдена (2.8) интегрнруется для случая $n=0$ и $n=1$ весьма просто. Действнтельно, при $n=0$, т. е. для звезды постоянной плотности, находим

$$p_1 = T_1 = 1 - \frac{x_1^2}{6} \quad \text{для} \quad n = 0. \qquad (2.10)$$

Откуда легко вычнсляются н все другие характеристикн. При $n=1$ подстановка $n = T_1 x_1$ своднт днфференцнальное уравнение (2.8) к простому виду: $n'' = -n$. Следовательно,

$$\text{при} \quad n=1: \quad T_1 = \frac{\sin x_1}{x_1} \quad \text{и} \quad p_1 = \frac{\sin^2 x_1}{x_1^2}. \qquad (2.11)$$

Для другнх индексов политропы n можно получнть решение в внде ряда по степеням x_1. Все нечетные производные оператора E должны обращаться в нуль прн $x_1=0$. Для четных же пронзводных легко установнть

$$E_0^{(2i)}\left[T_1'\right] = \frac{2i+3}{2i+1}\, T_1^{(2i+2)}(0). \qquad (2.12)$$

Теперь непосредственным дифференцнрованнем формулы (2.8) уже нетрудно вычислнть значення производных разлнчных порядков функции T_1 прн $x_1=0$ н тем самым определить коэффнцненты степенного разложения. Получается следующий ряд:

$$T_1 = 1 - \frac{x_1^2}{3!} + \frac{n}{5!} x_1^4 - \frac{n(8n-5)}{3 \cdot 7!} x_1^6 + + \frac{n(122n^2 - 183n + 70)}{9 \cdot 9!} x_1^8 \ldots \qquad (2.13)$$

При помощи (2.13) можно отойтн от особой точкн $x_1=0$, дальнейшнй же ход решения легко получить чнсленным ннтегрированием. В результате можно составить таблицу характернстнк звездных структур для некоторых n (табл. 1).

Случай $n={}^3/_2$ соответствует адиабатнческому изменению состояния одноатомного идеального газа ($\Gamma={}^5/_3$), а также обыкновенному газу Фермн (1.9). Что касается $n=3$, то этому

Таблица 1

n	x_0	M_{x_0}	$\frac{x_0^2}{3M_{x_0}}$	Ω_{x_0}
0	2,45	4,90	1,0	3/5
1	4,52	9,04	3,4	3/4
3/2	5,81	11,1	5,9	6/7
2	7,65	12,7	11,4	1
2,5	10,2	14,4	24,1	6/5
3	13,8	16,1	54,4	3/2
3,25	17,0	17,5	88,2	12/7

состоянню соответствуют: с одной стороны, релятивистский газ Фермн, а с другой стороны, ндеальный газ прн $B_1 = p_1$ — так называемое решение Эддннгтона.

Для политропных структур значения Ω_x вычисляются точно. Действительно, ннтеграл числнтеля (2.6) преобразуется:

$$\int_0^{x_0} p_1 x^2\, dx = \int_0^{x_0} T_1\, dM_x = -\int_0^{x_0} M_x \frac{dT_1}{dx}\, dx.$$

Из уравнения Эмдена следует, что

$$M_x = -(n+1)\, x^2 \frac{dT_1}{dx}. \qquad (2.14)$$

Такнм образом,

$$\int_0^{x_0} p_1 x^2\, dx = \frac{1}{n+1} \int_0^{x_0} \frac{M_x^2}{x^2}\, dx =$$

$$= -\frac{M_{x_0}^2}{x_0(n+1)} + \frac{2}{n+1} \int_0^{M_{x_0}} \frac{M_x}{x}\, dM_x.$$

Из формулы (2.5а) получается другое соотношение между темн же интегралами, откуда вычнсляем

$$\left[1 - \frac{6}{n+1}\right] \int_0^{x_0} p_1 x^2\, dx = -\frac{M_{x_0}^2}{x_0(n+1)},$$

и, подставляя это выражение в формулу (2.6), находим формулу Риттера (Ritter)

$$\Omega_{x_0}=\frac{3}{5-n}. \qquad (2.15)$$

Из этого выражения, между прочим, вытекает, что звезда может быть конечных размеров лишь при $n<5$.

§ 3. РЕШЕНИЕ ПРОСТЕЙШЕЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ

Начнем с рассмотрения системы (Iа), справедливой при отсутствии конвекции и малом лучевом давлении. Если коэффициент поглощения $\varkappa$, количество вырабатываемой энергии ε и уравнение фазового состояния материи могут быть представлены как произведения различных степеней функций p, B и ρ, то функции $\varkappa_1=\varkappa/\varkappa_c$, $\varepsilon_1=\varepsilon/\varepsilon_c$ и уравнение фазового состояния будут зависеть только от p_1, B_1 и ρ_1 и не содержать параметров p_c, B_c и ρ_c. В этом случае единственным параметром системы будет коэффициент λ. Систему (Iа) будем исследовать при еще бо́льших ограничениях: допустим, что $\varkappa$ не зависит от физических условий, и будем принимать закон идеальных газов; таким образом, мы имеем зависимости

$$\varkappa=\text{const};\ \varkappa_1=1;\ p_1=B_1^{1/4}\rho_1;\ \varepsilon_1=f(p_1,\ B_1); \qquad (2.16)$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2}\frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\,dp_1}{\rho_1\,dx}\right]=-1,$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2}\frac{d}{dx}\left[\frac{x^2\,dp_1}{\rho_1\,dx}\right]=-\lambda\varepsilon_1, \qquad (2.17)$$

где

$$\lambda=\frac{\varepsilon_c\varkappa}{4\pi G c\gamma_c};\quad \gamma_c=\frac{B_c}{p_c}. \qquad (2.18)$$

Взяв интегралы от обеих частей равенств (2.17), находим

$$\frac{x^2}{\rho_1}\frac{dB_1}{dx}=-\lambda L_x;\ \ \frac{x}{\rho_1}\frac{dp_1}{dx}=-M_x, \qquad (2.19)$$

где использованы уже ранее введенные обозначения

$$L_x=\int_0^x\varepsilon_1\rho_1 x^2\,dx;\ \ M_x=\int_0^x\rho_1 x^2\,dx. \qquad (2.20)$$

Интегрируя (2.19), получим, используя граничные условия, следующие выражения:

$$\lambda=\frac{1}{\int_0^{x_0}L_x\frac{\rho_1}{x^2}\,dx};\quad 1=\int_0^{x_0}M_x\frac{\rho_1}{x^2}\,dx.$$

Следовательно,

$$\lambda=\frac{\int_0^{x_0}M_x\frac{\rho_1}{x^2}\,dx}{\int_0^{x_0}L_x\frac{\rho_1}{x^2}\,dx}. \qquad (2.21)$$

Из выражений (2.21) и (2.20) заключаем, что чем больше концентрация источников энергии, тем больше λ. Если интенсивность источников возрастает к центру, то $\lambda>1$. При $\varepsilon=\text{const}$, $\varepsilon_1=1$ очевидно $\lambda=1$. Наконец, если энергия вырабатывается в большей степени в наружных слоях звезды, то $\lambda<1$. Из уравнений (2.19) следует

$$\frac{dB_1}{dp_1}=\frac{\lambda L_x}{M_x}. \qquad (2.22)$$

В силу условий $p_1=0$, $B_1=0$; $p_1=1$, $B_1=1$ среднее значение производной dB_1/dp_1 всегда равно единице. Так как

$$\left(\frac{dB_1}{dp_1}\right)_{x=0}=\lambda\ \text{ и }\ \left(\frac{dB_1}{dp_1}\right)_{x=x_0}=\frac{\lambda L_{x_0}}{M_{x_0}},$$

приходим к выводу, что в случае центральных источников $(\lambda L_{x_0}/M_{x_0})<1$, а при поверхностных $(\lambda L_{x_0}/M_{x_0})>1$. При равномерном выделении энергии $\frac{\lambda L_x}{M_x}=1$, $B_1=p_1$, и мы имеем рассмотренный в предыдущем параграфе случай политропы третьего класса. Этот частный вид решения был положен Эддингтоном в основу его теории внутреннего строения звезд. При $n>3$, как легко видеть, $(dB_1/dp_1)_x\to\infty$, что соответствует $L_{x_0}\to\infty$. Поэтому можно считать, что случаи $n>3$ характеризуют звезду с поверхностными источниками энергии. Политропы класса $n<3$ соответствуют до некоторой степени источникам, усиливающимся к центру. Поэтому данные табл. 1 отвечают наиболее вероятным структурам звезд. Однако следует иметь в виду, что при $n<3$ $(dB_1/dp_1)_{x_0}=0$, как это вытекает из формул (2.7) и (2.7а), и что, следовательно, $L_{x_0}=0$. Таким образом, политропные конфигурации, соответствующие концентрированным источникам, могут иметь место лишь при наличии стока энергии в наружных слоях звезды.

Последовательное дифференцирование формулы (2.22) при использовании системы (2.17) дает возможность вычислить производные $B_1(p_1)$ при $p_1=1$ и таким образом получить для $B_1(p_1)$ разложение в ряд Тейлора. Первые члены этого разложения имеют вид

$$B_1=1+\lambda(p_1-1)+\frac{3}{10}\lambda\left[\frac{\partial\varepsilon_1}{\partial p_1}+\lambda\frac{\partial\varepsilon_1}{\partial B_1}\right]_1(p_1-1)^2+\dots$$

Из поверхностного условия $B_1=0$ при $p_1=0$ с помощью этой формулы при достаточном числе членов получается уравнение, определяющее λ. Этот прием дает ориентировочное значение λ, уточнить которое можно численным интегрированием системы (2.17). Последнюю операцию приходится производить последовательными пробами.

Центр, т. е. $x=0$, является особой точкой дифференциальных уравнений (2.17). Отойти от особой точки можно при помощи рядов, после чего (когда сходимость рядов ухудшится) перейти к численному интегрированию. Разложение в ряд легко получить следующим приемом. Систему (2.17) перепишем в виде

$$E\left[\frac{B_1^{1/4}}{p_1}\frac{dp_1}{dx}\right]=-p_1B_1^{-1/4},$$

$$E\left[\frac{B_1^{1/4}}{p_1}\frac{dB_1}{dx}\right]=-\lambda\varepsilon_1p_1B_1^{-1/4}. \quad (2.23)$$

Формула (2.12) дает

$$E_0^{(2i)}[u]=\frac{2i+3}{2i+1}[u]_0^{(2i+1)}. \quad (2.24)$$

Тогда последовательное дифференцирование формулы (2.23) с применением (2.24) позволяет вычислить производные различных порядков $p_1(x)$ и $B_1(x)$ при $x=0$ и получить, таким образом, представление этих функций при помощи рядов Маклорена. Приведем первые члены этих разложений:

$$p_1=1-\frac{1}{3}\frac{x^2}{2!}+\frac{2}{15}[4-\lambda]\frac{x^4}{4!}-\ldots$$

$$B_1=1-\frac{\lambda}{3}\frac{x^2}{2!}+\frac{2\lambda}{15}\left[(4-\lambda)+\frac{3}{2}\left(\frac{\partial\varepsilon_1}{\partial p_1}+\lambda\frac{\partial\varepsilon_1}{\partial B_1}\right)_0\right]\frac{x^4}{4!}-\ldots \quad (2.25)$$

Для численного интегрирования удобно пользоваться следующими выражениями, которые легко получить из системы (2.23):

$$p_1''=-p_1^2B_1^{-1/2}+p_1'\left[\frac{p_1'}{p_1}-\frac{B_1'}{4B_1}-\frac{2}{x}\right],$$

$$B_1''=-\lambda\varepsilon_1p_1^2B_1^{-1/2}+B_1'\left[\frac{p_1'}{p_1}-\frac{B_1'}{4B_1}-\frac{2}{x}\right]. \quad (2.23a)$$

В этой системе вместо B_1 можно ввести приведенную температуру T_1 и вместо p_1 новую переменную $u_1=p_1^{1/4}$:

$$u_1''=-\frac{u_1^5}{4T_1^2}+u_1'\left[\left(\frac{u_1'}{u_1}-\frac{T_1'}{T_1}\right)-\frac{2}{x}\right],$$

$$T_1''=-\frac{\lambda\varepsilon_1u_1^8}{4T_1^5}+T_1'\left[4\left(\frac{u_1'}{u_1}-\frac{T_1'}{T_1}\right)-\frac{2}{x}\right], \quad (2.23b)$$

что дает значительное преимущество благодаря медленным изменениям функций T_1 и u_1.

Численное решение можно не доводить до поверхности звезды, так как для внешних слоев уравнения (2.23) могут быть непосредственно проинтегрированы. Действительно, принимая во внешних слоях $M_x=M_{x_0}=\text{const}$ и $L_x=L_{x_0}=\text{const}$, при помощи (2.19) находим

$$\frac{dp_1}{\rho_1}=-\frac{M_{x_0}}{x^2}dx;\quad \frac{dB_1}{\rho_1}=-\frac{\lambda L_{x_0}}{x^2}dx \quad \text{и} \quad B_1=\frac{\lambda L_{x_0}}{M_{x_0}}p_1. \quad (2.26)$$

Уравнение идеальных газов и последнее соотношение из (2.26) позволяют написать

$$\frac{dp_1}{\rho_1}=B_1^{1/4}\frac{dp_1}{p_1}=B_1^{-3/4}dB_1.$$

Интегрируя теперь первое выражение (2.26), находим

$$4T_1=M_{x_0}\frac{x_0-x}{x_0x}, \quad (2.27)$$

что дает линейный закон возрастания температуры с глубиной в самых наружных слоях звезды.

При нахождении λ пробными интегрированиями критерием правильности значения λ может служить, как видно из (2.26), постоянство отношения B_1/p_1, начиная с некоторых, достаточно далеких от центра значений x. Характер решений очень зависит от изменений λ, поэтому этот параметр определяется вполне точно. При численном интегрировании значения функций близ поверхности определяются очень неуверенно. Поэтому для вычисления характеристик L_{x_0} и M_{x_0} лучше всего воспользоваться непосредственно их интегральными выражениями (2.20). При нарастающих к центру источниках энергии L_{x_0} получается надежно даже при самом приближенном решении системы. Хуже всего определяется x_0, которое при известном M_{x_0} и решении для достаточно далекого x может быть вычислено по формуле (2.27):

$$x_0=\frac{x}{1-\dfrac{4T_1}{M_{x_0}}x}. \quad (2.27a)$$

Изложенным способом были получены решения системы для двух видов функции ε. Табл. 2 содержит характеристики этих решений в сопоставлении с моделью Эддингтона.

Последний столбец этой таблицы содержит характеристику, весьма существенную, как мы увидим в дальнейшем, для соотношения «масса — абсолютная яркость».

Постараемся теперь оценить, какие изменения в характеристиках звездных структур можно ожидать от переменности коэффициента поглощения. При $\varkappa$, зависящем от физических условий, уравнение (2.22) будет иметь вид

Таблица 2

ε_1	λ	x_0	M_{x_0}	L_{x_0}	$\frac{\lambda L_{x_0}}{M^3_{x_0}}$
1	1	13,8	16,1	16,1	$3,8 \cdot 10^{-3}$
B_1	1,76	10	12,4	2,01	$1,8 \cdot 10^{-3}$
$B_1 p_1$	2,32	9	11,5	1,57	$2,2 \cdot 10^{-3}$

$$\frac{dB_1}{dp_1} = \frac{\varkappa_1 \lambda L_x}{M_x}. \qquad (2.22a)$$

Допустим, что переменность $\varkappa$ может быть описана следующим образом:

$$\varkappa_1 = \frac{p_1^\alpha}{B_1^\beta}.$$

Рассмотрим простейший случай равномерного распределения источников энергии. Тогда $\varepsilon_1 = 1$, $L_x = M_x$, и возможно интегрирование уравнения (2.22a):

$$B_1^{1+\beta} = \lambda \frac{1+\beta}{1+\alpha} p_1^{1+\alpha}.$$

Из условия в центре звезды ($B_1 = p_1 = 1$) получаем

$$\lambda = \frac{1+\alpha}{1+\beta}; \quad B_1 = p_1^\lambda.$$

Следовательно, звезда будет иметь политропную структуру класса

$$n = \frac{4}{\lambda} - 1.$$

С физической точки зрения наиболее вероятным является уменьшение коэффициента поглощения с глубиной, а также выполнение неравенства $\alpha \geqslant -1$. Так как

$$\varkappa_1 = p_1^{\frac{\alpha-\beta}{1+\beta}} = B_1^{\frac{\alpha-\beta}{1+\alpha}},$$

то уменьшение $\varkappa_1$ с возрастанием p_1 и B_1 будет при $\alpha < \beta$. Тогда, очевидно, $\lambda < 1$ и $n > 3$. Следовательно, переменность $\varkappa$ скорее всего будет вызывать повышение класса политропии. Согласно теории фотоэлектрического поглощения

$$\varkappa_1 = \rho_1 / T_1^{3,5}.$$

В этом случае $\alpha = 1$, $\beta = 1,125$, и, следовательно, $n = 3,25$. В табл. 1 приведены соответствующие значения характеристик x_0 и M_x. Для других характеристик получаем $\lambda = 0,94$ и $\lambda L_x / M^3_{x_0} = \lambda / M^2_{x_0} = 3,06 \cdot 10^{-3}$. Все эти значения мало отличаются от тех, которые содержатся в табл. 2. Можно ожидать, что и при других типах распределения источников энергии переменность $\varkappa$ будет вызывать эффект того же порядка.

Рассматривая данные табл. 1 и 2, мы видим, что характеристики $x_0 \cong M_{x_0} \cong 10$ и $\lambda L_{x_0} / M^3_{x_0} \cong 2 \cdot 10^{-3}$ меняются сравнительно мало при разнообразных предположениях относительно структуры звезды, т. е. распределения в ней источников энергии.* Эти данные соответствуют случаям: равномерного распределения источников, столь сильной их концентрации, как приблизительная пропорциональность их интенсивности восьмой степени температуры, и политропным структурам, которые отвечают явлениям стока энергии в наружных слоях звезды. Однако следует иметь в виду, что нами не рассмотрены другие возможные случаи выделения энергии, как, например, выделение энергии только в некотором энергетически активном слое, т. е. случай существования максимума ε на некотором расстоянии от центра. При таком распределении источников внутри звезды должно быть, как видно из второго уравнения нашей основной системы, изотермическое ядро, и звезда по своей структуре будет приближаться к политропе более высокого класса, чем три. При таком виде функции ε_1 вместо прежнего ε_1 можно образовать $\varepsilon / \varepsilon_{max} = \varepsilon_1$, $0 \leqslant \varepsilon_1 \leqslant 1$, которое и будет входить в λ. Но в этом случае ε_1, а следовательно, и все характеристики, получаемые в результате решения системы, будут зависеть от p_c и B_c, причем по-прежнему возможность совместного решения системы будет устанавливать определенную связь между этими параметрами. Наконец, возможно, и это мы считаем весьма вероятным, что энергия в звезде выделяется лишь при некоторых определенных соотношениях между B и p в количестве, которого требует совместимость уравнений равновесия. Но для дальнейших выводов нам особенно важно констатировать постоянство характеристики $\lambda L_{x_0} / M^3_{x_0}$, приведенной в последнем столбце табл. 2. Эта характеристика может

* Следует помнить, что данные этих таблиц характеризуют структуру лишь при малом лучевом давлении. В противном случае все характеристики x_0, M_{x_0} и т. д. будут зависеть от γ_c.

оставаться приблизительно постоянной даже при таких особенных типах выделения энергии благодаря приблизительно параллельному ходу изменений числителя и знаменателя. Идя путем последовательных приближений, мы считаем себя вправе принять данные наших таблиц как первое приближение, которое может быть уточнено из сравнения с данными наблюдений. Изложенное показывает, что вряд ли целесообразно более строгое исследование системы (2.17). Поэтому мы не останавливались на доказательстве единственности значения параметра λ.

§ 4. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЦЕНТРЕ ЗВЕЗД

Средняя плотность Солнца $\bar{\rho}_{\odot}=1{,}411$. Пользуясь этим значением, найдем из (2.4) следующее выражение, определяющее центральную плотность звезд:

$$\rho_c = 0{,}470\,\frac{x_0^3}{M_{x_0}}\,\frac{M/M_{\odot}}{(R/R_{\odot})^3}. \qquad (2.28)$$

Формула (2.1) позволяет теперь вычислить газовое давление в центре звезды

$$p_c = \frac{G}{4\pi}\left(\frac{M_{\odot}}{R_{\odot}^2}\right)^2 \frac{x_0^4}{M_{x_0}^2}\,\frac{(M/M_{\odot})^2}{(R/R_{\odot})^4}. \qquad (2.29)$$

Принимая $M_{\odot}=1{,}985\cdot 10^{33}$ и $R_{\odot}=6{,}95\cdot 10^{10}$, получаем

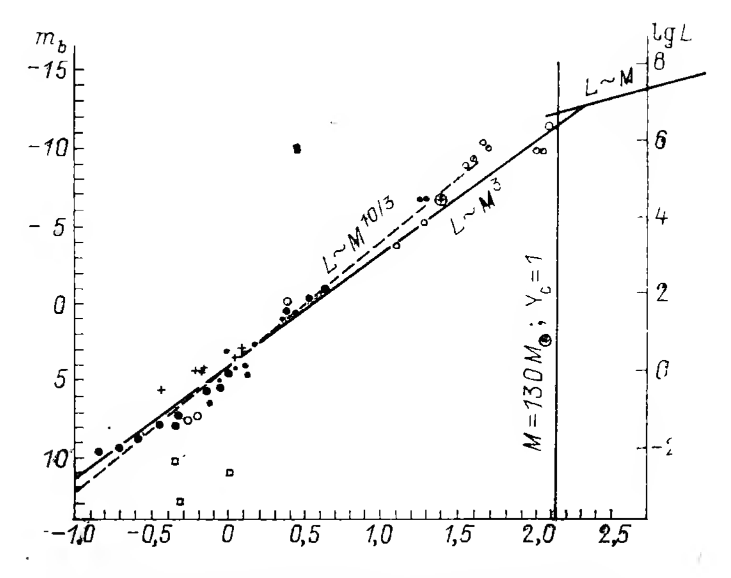
$$p_c = 8{,}9\cdot 10^{14}\,\frac{x_0^4}{M_{x_0}^2}\,\frac{(M/M_{\odot})^2}{(R/R_{\odot})^4}. \qquad (2.30)$$

Таким образом, давление в центре Солнца должно быть порядка 10^{16} дин/см², т. е. порядка десяти миллиардов атмосфер. Следует подчеркнуть, что эти формулы для ρ_c и p_c, как видно из их вывода, справедливы для любого фазового состояния материи.

Допустим теперь, что звезда состоит из идеального газа. Тогда, беря отношение (2.30) к (2.28) и пользуясь уравнением идеальных газов (1.8), находим

$$T_c = 2{,}29\cdot 10^7\mu\,\frac{x_0}{M_{x_0}}\,\frac{M/M_{\odot}}{R/R_{\odot}}. \qquad (2.31)$$

Следовательно, внутри Солнца температура порядка десяти миллионов градусов. В качестве другого крайнего примера рассмотрим инфракрасный спутник ε Aurigae. Для этой звезды: $M=24{,}6M_{\odot}$, $\lg L/L_{\odot}=4{,}46$ и $R=2140R_{\odot}$ [5]. Вычисляя по формулам (2.30) и (2.31) p_c и T_c, находим $T_c\cong 2\cdot 10^5$ и $p_c\cong 2\times 10^5$, т. е. температуру порядка сотен тысяч градусов и давление около одной атмосферы. Так как эта звезда прекрасно ложится на диаграмму зависимости масса — абсолютная яркость (фиг. 1) и на диаграмму Ресселла—Гертцшпрунга, мы имеем основания считать, что она имеет обычную для всех звезд структуру. Это может служить указанием на то, что энергия



Фиг. 1. Зависимость масса — абсолютная яркость.

Точки — визуально-двойные звезды; кружки — спектрально-двойные и затменные переменные; крестики — звезды в Гиадах; квадратики — белые карлики; крестик в кружке — спутник ε Aurigae.

внутри звезд вырабатывается и в условиях, сравнительно близких к тем, которые могут быть осуществлены в земной лаборатории.

Докажем теперь, что только внутри белых карликов, т. е. только в звездах особо малого радиуса, порядка нескольких сотых $R_{\odot}$, может выполняться уравнение вырожденного газа Ферми (1.9). Действительно, если в центре какой-либо звезды газ удовлетворяет уравнению Ферми, получим $p_c=1\cdot 10^{13}\rho_c^{5/3}\times\mu_e^{-5/3}$. Это условие выполняется, как показывают формулы (2.28) и (2.30), лишь при

$$R/R_{\odot}=3{,}16\cdot 10^{-3}\,\frac{x_0 M_{x_0}^{1/3}}{(M/M_{\odot})^{1/3}}\,\mu_e^{-5/3}. \qquad (2.32)$$

Эта формула остается справедливой независимо от того, какое состояние материи имеет место в других частях звезды. Последнее обстоятельство может влиять лишь на величину фактора

$x_0 M_{x_0}^{1/3}$, для которого, исходя из данных наших таблиц, мы можем принять ориентировочное значение порядка 10. Формула (2.32) показывает, что при обыкновенном вырождении газа звезды должны иметь (при $M \sim M_\odot$) приблизительно одинаковый радиус: $R \cong 2 \cdot 10^9$, т. е. около 20 000 км ($R = 0{,}03 R_\odot$). Такими размерами и обладают как раз белые карлики; например, спутник Сириуса имеет $M = 0{,}94 M_\odot$ и $R = 0{,}035 R_\odot$ [6]. При больших плотностях, т. е. при малых радиусах, и, как видно из формулы (2.32), возрастающих массах обыкновенное вырождение газа может перейти в релятивистское:

$$p = k\rho^{4/3}; \quad k = k_H \mu_e^{-4/3}; \quad k_H = 1{,}23 \cdot 10^{15}.$$

Применяя эти формулы к центру звезды, пользуясь выражениями (2.28) и (2.30), мы видим, что радиус из них выпадает, и таким образом релятивистское вырождение может осуществляться лишь при определенной массе:

$$\frac{M}{M_\odot} = 0{,}356 M_{x_0} \quad (\mu_e = 1). \tag{2.32a}$$

Из табл. 1 при $n = 3$ $M_x = 16{,}1$. Следовательно, предельная масса, которую может иметь звезда, состоящая из вырожденного газа, равна $5{,}7 M_\odot$. Для полного исследования вопроса о звездах из вырожденного газа мы должны пользоваться уравнением фазового состояния, охватывающим обыкновенное, релятивистское и переходное вырождения. Применяя к этому соотношению, как это мы делали выше, формулы (2.28) и (2.30), легко получить связь между радиусом и массой звезды, не имеющую ограничения со стороны малых радиусов. В этом заключается сущность теории белых карликов Чандрасекара (Chandrasekhar) [7]. Заметим, что для наблюдаемых размеров белых карликов уравнение (2.32) при $x_0 M_{x_0}^{1/3} = 10$ дает то же значение радиусов, что и таблица Чандрасекара, его известное соотношение между радиусом и массой звезды. Точное значение предельной массы, вычисленное Чандрасекаром, совпадает с этим значением $5{,}7 M_\odot$. В соотношении Чандрасекара, так же как и в формуле (2.32), радиус имеет обратную зависимость от массы. В настоящее время только для трех белых карликов известны массы и радиусы, и эти звезды не подтверждают обратную зависимость масса — радиус. Таким образом, кроме совпадения размеров спутника Сириуса с выражением (2.32), у нас нет прямых астрофизических подтверждений вырождения газа внутри белых карликов.

Для звезд, построенных из идеального газа, выведем соотношение, определяющее массу звезды в зависимости от условий внутри нее. Для этого можно воспользоваться формулами (2.30) и (2.31) или непосредственно выражением (2.2). Применяя к формуле (2.2) уравнение Бойля—Мариотта (1.8) и пользуясь законом Стефана—Больцмана (1.7), находим

$$M = C \frac{\gamma_c^{1/2}}{\mu^2} M_{x_0}; \quad C = \frac{\mathfrak{R}^2}{G^{3/2} \sqrt{\frac{4}{3} \pi \alpha}} = 2{,}251 \cdot 10^{33}. \tag{2.33}$$

Введем в уравнение (2.33) массу Солнца: $M_\odot — 1{,}985 \cdot 10^{33}$. Тогда

$$M = 1{,}134 M_\odot \frac{\gamma_c^{1/2}}{\mu^2} M_{x_0}. \tag{2.34}$$

Мы увидим ниже, что характер зависимости масса — абсолютная яркость указывает для голубых сверхгигантов на значение γ_c, приближающееся к единице. Таким образом, формула (2.34) дает наблюдаемые значения звездных масс. То обстоятельство, что мы получаем правильный порядок звездных масс, исходя лишь из значений универсальных физических констант G, $\mathfrak{R}$ и α, является, по нашему мнению, замечательным подтверждением теории.

§ 5. СООТНОШЕНИЕ МАССА — АБСОЛЮТНАЯ ЯРКОСТЬ

При выводе соотношения масса — абсолютная яркость будем полагать, что: 1) лучевое давление всюду в звезде мало по сравнению с газовым, 2) звезды построены из идеального газа и 3) ε и $\varkappa$ могут быть аппроксимированы функциями типа $p^\alpha B^\beta$. Основная система уравнений будет иметь вид

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx} \left[\frac{x^2 \, dp_1}{\rho_1 \, dx} \right] = -1,$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx} \left[\frac{x^2 \, dB_1}{\varkappa_1 \rho_1 \, dx} \right] = -\lambda \varepsilon_1, \tag{2.35}$$

где

$$\lambda = \frac{\varepsilon_c \varkappa_c}{4\pi G c \gamma_c}.$$

Решение этой системы, как мы знаем, возможно лишь при некотором определенном значении λ, не сильно отличающемся от единицы. Следовательно, звезда может находиться в равновесии только в том случае, если внутри нее вырабатывается энергия в количестве, определяемом формулой

$$\varepsilon_c = \frac{\lambda 4\pi G c}{\varkappa_c} \gamma_c. \tag{2.36}$$

Если звезда вырабатывает другое количество энергии, она будет сжиматься или расширяться, пока новая конфигурация не

приведет к значению энергии (2.36). Так как γ_c определяет массу звезды (2.34), а ε_c яркость звезды, то в зависимости (2.36) мы и должны искать связь «масса — абсолютная яркость». Следовательно, зависимость масса — абсолютная яркость является условием равновесия звезды.

По формуле (2.3)

$$\varepsilon_c = \frac{L}{M} \frac{M_{x_0}}{L_{x_0}}.$$

Подставляя это выражение в формулу (2.36), находим

$$L = \frac{4\pi G c}{\varkappa_c} \frac{\lambda L_{x_0}}{M_{x_0}} M\gamma_c.$$

Величина γ_c, входящая в эту формулу, может быть заменена массой звезды согласно (2.33):

$$L = \frac{4\pi G^4 c 4\pi a}{3\varkappa_c \mathfrak{R}^4} \mu^4 \left(\frac{\lambda L_{x_0}}{M^3_{x_0}}\right) M^3. \qquad (2.37)$$

Если принять светимость Солнца $L_\odot = 3{,}78 \cdot 10^{33}$, то из формулы (2.37), вычисляя постоянные, получим

$$L/L_\odot = 1{,}04 \cdot 10^4 \frac{\mu^4}{\varkappa_c} \left(\frac{\lambda L_{x_0}}{M^3_{x_0}}\right) (M/M_\odot)^3. \qquad (2.38)$$

Формула (2.38) дает простое соотношение: яркость пропорциональна кубу массы звезды. При выводе этой формулы мы приняли, что ε является функцией типа $\varepsilon \sim p^\alpha B^\beta$ и что, следовательно, ε_1 зависит от p_1 и B_1. Очевидно, что отказ от этого допущения не может существенно повлиять на общий ход найденной зависимости (2.38). Действительно, при произвольном ε ε_1 будет зависеть от p_c и B_c. Таким образом, множитель $\lambda L_{x_0}/M^3_{x_0}$ в формуле (2.38) будет для различных звезд соответствовать различным структурам. Но, как показывает табл. 2, этот множитель почти одинаков для различных звездных структур. Поэтому зависимость масса — абсолютная яркость не дает никаких указаний о характере источников звездной энергии; она практически не зависит от их вида. Напротив, другие сделанные допущения очень существенны. Как видно из формулы (2.33), зависимость массы от яркости получается только в том случае, если давление зависит от температуры, и наша зависимость (2.38) получается лишь для идеального газа. Также очень существенно считать коэффициент поглощения $\varkappa$ одинаковым для всех звезд. Что касается роли лучевого давления, то она будет специально рассмотрена в следующем параграфе.

Перейдем теперь к сравнению формулы (2.38) с данными наблюдений. На прилагаемом чертеже приведены массы и яркости звезд в соответствии с современным состоянием этого вопроса. Чертеж построен по данным Койпера (Kuiper) [8] и монографии Ресселла—Мура (Moore) [9] о звездных массах. Из диаграммы Койпера мы исключили звезды Тремплера (Trumpler) [10], массы которых мало надежны. Действительно, массы этих звезд, принадлежащих к звездным скоплениям, были вычислены Тремплером в предположении, что K — член лучевых скоростей относительно всего скопления — всецело объясняется красным смещением Эйнштейна. Поэтому массы звезд Тремплера могут быть чрезвычайно завышены. Вместо звезд Тремплера для характеристики соотношения масса — яркость при больших массах мы предпочли использовать определения масс особо массивных затменных переменных (V V Cephei, V 381 Scorpii, тоже маловадежные) и приблизительные данные о спектрально-двойной звезде Пласкетта BD+6° 1309.

Как видно из фиг. 1, полученная нами зависимость $L \sim M^3$ хорошо согласуется с наблюдениями во всем интервале наблюдаемых масс с наибольшим отклонением порядка $1{,}5m$. Пунктирная прямая, которая мало отличается от нашей теоретической прямой, соответствует $L \sim M^{10/3}$. Эту прямую большинство исследователей (Паренаго [11], Койпер [8], Ресселл [9] и др.) считают наилучшим представлением наблюдений. Некоторые авторы находят для показателя массы еще большее значение; так, например, Бэз (Baize) [12] получил $L = M^{3,58}$. Если даже считать реальными эти отклонения показателя от трех, все же как первое приближение теоретическое представление зависимости является вполне удачным. Коэффициент в нашей зависимости (2.38) очень чувствителен к изменениям μ. Поэтому близкое совпадение теоретической зависимости с наблюдениями говорит о том, что в среднем химический состав звезд приблизительно одинаков. То же относится и к коэффициенту поглощения. Так как внутренние условия звезд могут быть чрезвычайно разнообразными и при одинаковой яркости звезд быть весьма отличными (например, у красных гигантов и голубых звезд основной последовательности), то неизбежным заключением является независимость коэффициента поглощения звездной материи от давления и температуры. Этими выводами оправдываются допущения, принятые в § 3, при решении основной системы уравнений.

То обстоятельство, что белые карлики не ложатся на общую для других звезд зависимость масса — яркость, может рассматриваться как подтверждение наличия внутри них вырожденного газа. Поскольку сильное увеличение коэффициента поглощения внутри белых карликов в сравнении с обычными звездами мало правдоподобно, другое объяснение возможно лишь в предположении, что для них структурный множитель $\lambda L_{x_0}/M_{x_0}$ прибли-

7 Заказ № 23

зительно в 100 раз меньше, чем для других звезд. Положение белых карликов на диаграмме Ресселла—Гертцшпрунга может дать известное указание для решения этого вопроса.

Произведем теперь численное сравнение формулы (2.38) с данными наблюдений. Как видно из чертежа, прямая $L \sim M^3$, наилучшим образом согласованная с наблюдениями, проходит несколько выше положения Солнца. Поэтому при $M = M_{\odot}$ мы должны в формуле (2.38) считать $L = 1{,}8 L_{\odot}$. В соответствии с табл. 2 примем $\lambda L_{x_0}/M^3_{x_0} = 2 \cdot 10^{-3}$. Тогда получается

$$\mu^4/\varkappa_c = 0{,}08. \qquad (2.39)$$

§ 6. ЛУЧЕВОЕ ДАВЛЕНИЕ ВНУТРИ ЗВЕЗД

До сих пор мы пренебрегали лучевым давлением в сравнении с газовым в уравнении механического равновесия звезды. Рассмотрим теперь основную систему уравнений (III), учитывающую лучевое давление. При постоянном $\varkappa$, т. е. при $\varkappa_1 = 1$, эта система, очевидно, может быть написана в виде

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[x^2 \frac{dp_1}{\rho_1 dx}\right] = -(1 - \lambda\gamma_c\varepsilon_1),$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[x^2 \frac{dB_1}{\rho_1 dx}\right] = -\lambda\varepsilon_1. \qquad (2.40)$$

Производя вычисления, аналогичные тем, которые были выполнены при выводе формулы (2.21), находим

$$\lambda(1+\gamma_c) = \frac{\int\limits_0^{x_0} M_x \frac{\rho_1}{x^2}\, dx}{\int\limits_0^{x_0} L_x \frac{\rho_1}{x^2}\, dx}. \qquad (2.41)$$

Отношение интегралов этой формулы зависит от распределения источников энергии внутри звезды, т. е. от структуры звезды, сохраняя значение, близкое к единице. Таким образом, $\lambda(1+\gamma_c) \sim 1$. При равномерном распределении источников $\varepsilon_1 = 1$; $L_x = M_x$, и, следовательно, точно $\lambda(1+\gamma_c) = 1$. При источниках, усиливающихся к центру, $\lambda(1+\gamma_c) > 1$. В этом случае при большом лучевом давлении ($\gamma_c > 1$) структура звезды должна быть весьма своеобразной. Действительно, в этом случае $\lambda > 1$, и правый член в первом уравнении (2.40), в центре $\lambda\gamma_c > 1$, и правый член в первом уравнении (2.40), в центре звезды, будет положителен; тогда из формулы (2.24) следует, что $p_1'' > 0$. Таким образом, в центре такой звезды газовое давление и плотность должны иметь минимум, а максимальное значение — на некотором расстоянии от центра.

Из изложенного следует, что особо массивные звезды, т. е. звезды с большим γ_c, могли бы находиться в равновесии лишь при $\lambda\gamma_c \sim 1$, откуда имеем условие

$$\varepsilon_c \sim \frac{4\pi G c}{\varkappa}. \qquad (2.42)$$

Таким образом, начиная с некоторой массы, соответствующей $\gamma_c > 1$, количество энергии, вырабатываемое единицей массы, должно иметь постоянное значение для всех этих особо массивных звезд. Яркость этих звезд, как следует из формул (2.3) и (2.2), должна быть пропорциональна массе: $L \sim M$. Эта зависимость изображена на фиг. 1 отрезком прямой в верхнем углу чертежа. Первоначальное изображение зависимости масса — абсолютная яркость у Эддингтона [13] и других авторов имело у массивных звезд тенденцию искривления в эту сторону. Однако последующие исследования даже для самых массивных звезд (как видно из нашего чертежа) уже не дают этого искривления, что особо подчеркивается Ресселлом [9] и Бэзом [12]. Поэтому можно считать, что в природе не осуществляются конфигурации, для которых $\gamma_c > 1$, и что пределом возможных звездных масс является условие $\gamma_c = 1$. Не имея представления о характере источников звездной энергии, затруднительно обосновать это положение с точки зрения устойчивости звезды. Но все же сложность конфигураций при больших γ_c говорит о том, что подобные конфигурации трудно осуществимы и что такие звезды, если и существуют, то встречаются весьма редко.

Чтобы получить представление о влиянии γ_c на структуру звезды, рассмотрим простейший случай равномерно распределенных источников $\varepsilon_1 = 1$. В этом случае, как мы знаем,

$$\lambda = \frac{1}{1+\gamma_c}, \qquad (2.43)$$

и система (2.40) может быть написана в виде

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2 dp_1}{\rho_1 dx}\right] = -\frac{1}{1+\gamma_c},$$

$$\frac{1}{\rho_1 x^2} \frac{d}{dx}\left[\frac{x^2 dB_1}{\rho_1 dx}\right] = -\frac{1}{1+\gamma_c}. \qquad (2.44)$$

Вводя вместо x переменную $x_{\gamma_c=0}$ согласно условию

$$x = \sqrt{1+\gamma_c}\, x_{\gamma_c=0}, \qquad (2.45)$$

получаем основную систему в том же виде, как при отсутствии лучевого давления. Поэтому основные характеристики звездных структур будут выражаться следующим образом:

$$x_0 = x_{0,\ \gamma_c=0}(1+\gamma_c)^{1/2};\quad M_{x_0} = M_{x_0,\ \gamma_c=0}(1+\gamma_c)^{3/2};$$

$$L_{x_0} = L_{x_0,\ \gamma_c=0}(1+\gamma_c)^{3/2};\quad \lambda = \frac{\lambda_{\gamma_c=0}}{1+\gamma_c}. \tag{2.46}$$

Характеристики с индексом ($\gamma_c = 0$) соответствуют структурам при $\gamma_c \ll 1$ и могут быть взяты из нашей табл. 2. Выражения (2.46) должны представлять приблизительные изменения характеристик и для других структур. Таким образом, при больших γ_c выражение для массы звезды (2.34) будет следующим:

$$M \cong 1{,}134 M_\odot \frac{\gamma_c^{1/2}}{\mu^2}(1+\gamma_c)^{3/2} M_{x_0,\ \gamma_c=0}. \tag{2.47}$$

Наблюдения показывают, что максимальные массы имеют значение порядка $120 M_\odot$ (см. фиг. 1, которая показывает некоторую тенденцию к искривлению зависимости около $\lg M/M_\odot = 2$). Полагая в формуле (2.47) для этого значения массы $\gamma_c = 1$ и принимая $M_{x_0} = 10$, получаем значение среднего молекулярного веса $\mu = 0{,}51$.

Тогда по формуле (2.39) находим $\varkappa = 0{,}8$. С другой стороны, считая, что зависимость масса — яркость имеет тенденцию выхода к прямой $L \sim M$, изображенной на чертеже, мы получаем предельное значение $\bar{\varepsilon} = 5 \cdot 10^4$. Если источники распределены равномерно, то из (2.42) следует, что $\varkappa = 0{,}5$. В другом предположении, например при концентрации источников, $\varepsilon_c > \bar{\varepsilon} = \varepsilon_c \times \times L_{x_0}/M_{x_0}$. Но в этом случае и в формуле (2.42) будет стоять знак $>$. Происходит некоторая компенсация, и можем считать, что это значение $\varkappa$ оценено правильно. Точное выражение для $\bar{\varepsilon}$ получается

$$\frac{L}{M} = \bar{\varepsilon} = \frac{4\pi G c}{\varkappa} \frac{L_{x_0}}{M_{x_0}} \frac{\int_0^{x_0} M_x \frac{\rho_1}{x^2} dx}{\int_0^{x_0} L_x \frac{\rho_1}{x^2} dx} \frac{\gamma_c}{1+\gamma_c}. \tag{2.48}$$

Итак, из анализа зависимости масса — абсолютная яркость мы приходим к следующим важным заключениям: 1) все звезды, возможно, кроме белых карликов, целиком состоят из идеального газа; 2) во внутренних областях, где происходит выделение энергии, все звезды имеют одинаковый химический состав: $\mu = \mathrm{const} = 1/2$, т. е. состоят из смеси протонов и электронов без заметной примеси других ядер; 3) коэффициент поглощения на единицу массы $\varkappa$ не зависит от физических условий и имеет значение несколько меньше единицы. Томсоновское рассеяние света свободными электронами обладает как раз этими

свойствами и имеет это численное значение. Действительно, коэффициент томсоновского рассеяния на один электрон

$$\sigma_0 = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{m_e c^2}\right)^2 = 6{,}66 \cdot 10^{-25}, \tag{2.49}$$

где e и m_e — соответственно заряд и масса электрона. Для нашей смеси протонов и электронов для единицы массы получаем

$$\varkappa_T = \frac{\sigma_0}{m_H} = \frac{6{,}66 \cdot 10^{-25}}{1{,}66 \cdot 10^{-24}} = 0{,}40. \tag{2.50}$$

Совпадение наших оценок $\varkappa$ с этим значением $\varkappa_T$ достаточно хорошо. Поэтому представляется возможным, что взаимодействие света и материи внутри звезд определяется процессом Томсона — ускорения свободных электронов электрическим полем световой волны.

Так как μ входит в соотношение масса — яркость (2.38) в четвертой степени, то получаемая оценка μ должна быть весьма точной. Из (2.39) при $\varkappa = \varkappa_T$ $\mu = 0{,}43$. Так как μ не может быть меньше $1/2$, то получаемое при этом $\varkappa = 0{,}8$ почти вдвое больше $\varkappa_T$ скорее всего может объясняться тем обстоятельством, что структурный коэффициент в формуле (2.38) должен быть взят в два раза меньшим. По-видимому, для μ мы можем принять значение, равное $1/2$, с точностью до 0,05. При полной ионизации тяжелых атомов их средний молекулярный вес равен 2. Если принять средний молекулярный вес в звезде вместо $1/2$ равным 0,55, то процент содержания ионизованных атомов водорода x_H получится из условия

$$2x_H + \frac{1}{2}(1 - x_H) = \frac{1}{0{,}55};\quad x_H \cong 90\,\%.$$

Таким образом, внутри звезды максимальная примесь тяжелых ядер, которую мы можем допустить, исходя из вида зависимости масса — яркость, составляет несколько процентов. При $\mu = 1/2$ значение массы звезды, при которой $\gamma_c = 1$, получается равным $130 M_\odot$. Это значение и отмечено на фиг. 1.

Оценим теперь значение лучевого давления в центре такой звезды, как Солнце. Из формулы (2.34) следует, что $\gamma_{c\odot} \cong 10^{-3}$. В этом случае в уравнении механического равновесия можно вполне пренебрегать членом, содержащим лучевое давление.

§ 7. СРАВНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ДРУГИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В обычной трактовке теории внутреннего строения звезд вывод соотношения масса — абсолютная яркость чрезвычайно осложнен тем обстоятельством, что коэффициент поглощения $\varkappa$ априори принимался зависящим от физических условий. Пред-

полагалось, что внутри звезд поглощение света происходит в результате свободно связанных переходов электрона (поглощение за границами спектральных серий) или переходов электрона с одной гиперболической орбиты на другую в поле положительно заряженного ядра. Теория этого типа поглощения впервые была дана Крамерсом (Kramers), затем уточнена последующими исследованиями Гаунт (Gaunt) и др., и в особенности исследованиями Чандрасекара [14]. Согласно Чандрасекару коэффициент поглощения зависит от физических условий приблизительно следующим образом:

$$\varkappa_{\mathrm{ch}} = 3{,}9 \cdot 10^{25} \frac{\rho}{T^{3,5}} (1 - x_{\mathrm{H}}^2), \tag{2.51}$$

где x_{H} — процент содержания водорода, а числовой фактор получен для ресселловской смеси элементов. Для уяснения влияния этого рода поглощения на ход зависимости масса — абсолютная яркость примем для $\varkappa_{\mathrm{ch}}$ упрощенное выражение

$$\varkappa = \varkappa_0/\gamma. \tag{2.52}$$

В этом случае, при малых γ_c, как видно из формул (2.38) и (2.33), L будет пропорционально M^5. Этот показатель, как мы знаем, слишком велик, поэтому приходится допустить, что γ_c нельзя отбрасывать в сравнении с единицей. При больших γ_c из формул (2.48) и (2.47) следует, что $L \sim M^{3/2}$. Таким образом, чтобы согласовать теоретический вывод с наблюдениями, оставалось рассматривать случай промежуточных γ_c и отказаться от прямолинейной зависимости $\lg L$ от $\lg M$. Из формул (2.47) и (2.48) имеем

$$M^2 \sim \frac{\gamma_c (1+\gamma_c)^2}{\mu^4}; \quad M^2 \sim \frac{1-\beta}{\mu^4 \beta^4},$$

$$L \sim M \frac{\gamma_c^2}{1+\gamma_c}; \quad L \sim M^{3/2} (1-\beta)^{3/4} \mu. \tag{2.53}$$

Здесь мы привели выражения, в которых γ_c заменена постоянной β (этой постоянной обычно пользуются в теории внутреннего строения звезд):

$$\beta = \frac{p_c}{p_0} = \frac{1}{1+\gamma_c}. \tag{2.54}$$

Таким образом, зависимость масса — абсолютная яркость, представляемая двумя формулами (2.53), приобретает сложный вид. Эти формулы приблизительно соответствуют формулам Эддингтона [15] и других авторов. Точное выражение для (2.51) вводит в них еще температуру центра T_c. При больших γ_c, как это видно из формул (2.46), в выражении (2.31) для T_c будет еще множитель β:

$$T_c = 2{,}29 \cdot 10^7 \mu\beta \left(\frac{\varkappa_0}{M_{\varkappa_0}}\right)_{\gamma_c=0} \frac{M/M_\odot}{R/R_\odot}. \tag{2.55}$$

Тогда через T_c в зависимость масса — абсолютная яркость войдет радиус звезды или эффективная температура. Отсюда и получается известная температурная поправка Эддингтона.

Чтобы согласовать с наблюдениями рассматриваемый случай промежуточных γ_c, приходится принять $\gamma_c = 1$ уже при $M \cong 10 M_\odot$, что дает для Солнца $\gamma_{c_0} = 0{,}08$. Как видно из формулы (2.47), это возможно при $\mu \cong 2$. Тогда из (2.39), принимая в соответствии с моделью Эддингтона $\lambda L_{\varkappa_0}/M_{\varkappa_0}^3 = 3{,}8 \times 10^{-3}$, получаем $\varkappa_{c_\odot} = 170$ и $\varkappa_0 = 14$. Теоретическая величина $\varkappa_0$ может быть найдена из сравнения (2.52) и (2.51):

$$\varkappa_0 = \frac{\alpha\mu}{3\Re\sqrt{T_{c_\odot}}} \cdot 3{,}9 \cdot 10^{25} (1 - x_{\mathrm{H}}^2). \tag{2.56}$$

Согласно (2.55) $T_{c_\odot} = 4 \cdot 10^7$. Тогда при малом содержании водорода имеем $\varkappa_0 = 0{,}4$. Таким образом, теоретическое значение коэффициента поглощения приблизительно в тридцать раз меньше значения, необходимого для согласования всей этой теории с наблюдениями. Это расхождение представляет собой хорошо известную «трудность теории», обнаруженную еще Эддингтоном. Согласно Стремгрену (Strömgren) [16] выход из этого затруднения может быть найден в предположении, что химический состав звезд меняется в зависимости от светимости звезды. Благодаря значительной примеси водорода μ может изменяться в пределах $1/2 \leqslant \mu \leqslant 2$. Хотя в этом случае, как видно из (2.56), теоретическое $\varkappa_0$ может слегка уменьшиться, зато $\varkappa_0$, получаемое из согласования теории с наблюдениями, как мы знаем из наших рассмотрений в предыдущем параграфе, уменьшится значительно сильнее, и возможно, как это и получается у Стремгрена, согласование этих значений. Отсюда уже и рождаются все дальнейшие исследования эволюционного изменения содержания водорода в звездах, ставшие столь распространенными благодаря объяснениям звездной энергии термоядерными реакциями Бете.

Натянутость изложенных теорий очевидна. Простота же и общность, с которой получены наши выводы, говорят в их пользу. Заметим, что два наших основных вывода, полученных независимо один от другого,

$$1)\ \mu = 1/2;\ x_{\mathrm{H}} = 1 \quad \text{и} \quad 2)\ \varkappa = \varkappa_T,$$

физически неизбежно связываются между собой. Действительно, при $x_{\mathrm{H}} = 1$ формула (2.51) неприменима. Поглощение Крамерса (свободные переходы) будет в этом случае на несколько порядков меньше и вряд ли превысит томсоновский процесс. Тем не

менее основной наш результат, заключающийся в том, что $\gamma_c < 1$ для всех звезд, откуда получены и все другие заключения, столь важен, что мы считаем необходимым обосновать его еще на другом астрофизическом материале. Это и будет сделано в следующей главе при анализе зависимости «период — яркость Цефеид». Заметим еще, что полученный нами вывод о том, что внутренние области звезд, где происходит выделение энергии, почти целиком состоят из водорода, несмотря на кажущуюся парадоксальность, следует рассматривать как эмпирически установленный факт. Можно надеяться, что дальнейшее приближение к решению вопроса о природе звездной энергии позволит привести этот результат в соответствие со спектроскопическими данными о наличии тяжелых элементов в наружных слоях звезд.

§ 8. РОЛЬ КОНВЕКЦИИ ВНУТРИ ЗВЕЗД

В главе 1, § 3 были приведены уравнения равновесия звезды, учитывающие конвективный перенос энергии. Предполагая коэффициент конвекции $A = \text{const}$, уравнение теплового равновесия звезды — второе уравнение системы (II) — может быть написано в следующем виде:

$$\frac{1}{\rho_1 x^2}\frac{d}{dx}\left[\frac{x^2 dB_1}{\rho_1 dx}\right] - \frac{\varkappa\rho_c A}{c\gamma_c}\frac{1}{\rho_1 x^2}\frac{d}{dx}\left[x^2 u\frac{dp_1}{dx}\right] = -\lambda\varepsilon_1, \quad (2.57)$$

где

$$u = 1 - \frac{\Gamma}{4(\Gamma-1)}\frac{p_1}{B_1}\frac{dB_1}{dp_1}. \quad (2.58)$$

Конвективный член в формуле (2.57) будет играть роль в том случае, если

$$\frac{\varkappa\rho_c A}{c\gamma_c} > 1; \quad A > \frac{c\gamma_c}{\varkappa\rho_c}. \quad (2.59)$$

Следовательно, для Солнца коэффициент конвекции должен удовлетворять условию $A_\odot > 5\cdot 10^7$. Что касается сверхгигантов, то для них конвекция может иметь значение лишь при $A > \sim 10^{16}$. Коэффициент A, как мы видели — формула (1.17), равен произведению скорости конвекционного тока на среднюю длину пробега тока $\bar{\lambda}$. Таким образом, в сверхгигантах только при токах, для которых $\bar{\lambda}$ порядка размеров звезды, конвекция может влиять на перенос тепла. Такая сильная вынужденная конвекция маловероятна. Но при наличии конвективной неустойчивости, так как средняя длина пробега тока должна быть порядка размера конвективной зоны, коэффициент A может быть очень велик и для всех звезд удовлетворять неравенству (2.59). Если A во много раз превышает значение правой части этого неравенства, то, поскольку все члены уравнения (2.57) и уравнения механического равновесия порядка единицы, выражение в квадратных скобках конвективного члена должно быть близким к нулю. Таким образом, при большом A

$$u = 0, \quad \text{откуда } B_1 = p_1^{\frac{4(\Gamma-1)}{\Gamma}}, \quad (2.60)$$

т. е. уравнение адиабатического изменения состояния. Для одноатомного газа $\Gamma = {}^5/_3$ $(n = {}^3/_2)$ и

$$B_1 = p_1^{8/5}. \quad (2.61)$$

Так как согласно нашим заключениям звезды состоят почти целиком из водорода, значение Γ может отличаться от $^5/_3$ лишь в самых наружных слоях звезд, не существенных с точки зрения строения звезды в целом. Поэтому зоны свободной конвекции могут возникнуть лишь за счет распределения источников энергии.

Свободная конвекция будет иметь место в том случае, когда градиент температуры лучевого равновесия больше градиента температуры конвективного равновесия. Этому условию Шварцшильда можно придать следующий вид:

$$\left(\frac{d\lg B_1}{d\lg p_1}\right)_{\text{Rad}} > \left(\frac{d\lg B_1}{d\lg p_1}\right)_{\text{Ad}},$$

откуда при помощи (2.22) и (2.61) находим

$$\frac{\lambda L_x}{M_x} > 1{,}6\frac{B_1}{p_1}. \quad (2.62)$$

Из этого неравенства видно, что в наружных слоях звезд свободная конвекция невозможна. Для центральных областей получается следующее условие возможности свободной конвекции:

$$\lambda > 1{,}6.$$

Данные табл. 2 показывают, что уже при $\varepsilon_1 = B_1$ внутри звезд должно существовать конвективное ядро. Если ε_1 зависит только от температуры и может быть аппроксимировано функцией $\varepsilon_1 = T^m$, то, как показывают вычисления, λ будет иметь критическое значение 1,6 при $m = 3{,}5$. Таким образом, конвективное ядро появляется внутри звезд при $m > 3{,}5$. Радиус конвективного ядра x_1 определяется условием равенства градиента температур. Заменяя в формуле (2.62) знак $>$ равенством, находим

$$\lambda L_{x_1} = 1{,}6 M_{x_1}\left(\frac{B_1}{p_1}\right)_{x_1} = 1{,}6 M_{x_1}\rho_{x_1}. \quad (2.63)$$

Очевидно, что при более сильной концентрации источников размер конвективного ядра будет увеличиваться. При достаточной концентрации все источники энергии будут практически сосредоточены внутри конвективной зоны, а в зоне лучевого равновесия будет $\lambda L_x = \lambda L_{x_1} = \text{const}$. Так как граница конвективной зоны определяется равенством градиентов физических характеристик зон конвективного и лучевого равновесий, в такой звезде будут непрерывными не только сами p_1 и T_1, но и их производные.

Таблица 3

$\varkappa$	x_1	M_{x_1}	λL_{x_0}	x_0	M_{x_0}	$\frac{x_0^3}{3M_{x_0}}$	$\frac{\lambda L_{x_0}}{M^3_{x_0}}$
const	2,4913	3,570	3,018	8,9	11,46	20,5	$1{,}97 \cdot 10^{-3}$
$\varkappa_{ch}$	1,88	1,25	1,25	11,2	12,4	37,0	$0{,}65 \cdot 10^{-3}$

Поэтому расчет этой структуры можно произвести до конца, решая систему уравнений механического и лучевого равновесий при $\varepsilon_1 = 0$ и граничных условиях: 1) при некотором $x = x_1$ p_1 и B_1 и их производные должны иметь значения, соответствующие решению уравнения Эмдена при $n = 3/2$, 2) при $x = x_0$ $p_1 = B_1 = 0$. Эти четыре условия полностью определяют решение. Определение x_1 можно произвести последовательными пробами так, как это было сделано в § 3 при определении λ.

Формулированная задача, называемая обычно задачей строения звезды с точечным источником при малом лучевом давлении, была в этом виде впервые поставлена и решена Коулингом [17]. В расчетах Коулинга коэффициент поглощения считался переменным согласно формуле (2.51): $\varkappa = \varkappa_{ch}$. Мы видели (§ 6), что внутри звезд $\varkappa = \varkappa_T$. В самых внешних слоях звезды, очевидно, $\varkappa$ должно сильно возрастать и переходить в $\varkappa_{ch}$. Но благодаря медленным изменениям физических условий в значительной части звезды $\varkappa$ может оставаться равным $\varkappa_T$. Поэтому представляется интересным произвести расчет общей структуры звезды при $\varkappa = \text{const}$. Это перевычисление модели Коулинга было произведено путем численного интегрирования системы уравнений (2.23в), полагая в ней $\varepsilon_1 = 0$.

В табл. 3 приведены основные характеристики конвективной модели при $\varkappa = \text{const}$ и $\varkappa = \varkappa_{ch}$; последние получены по вычислениям Коулинга. Величина λL_{x_0} определена при помощи формулы (2.62). В этой модели безразличен характер распределения источников внутри конвективной зоны, поэтому постоянные λ и L_{x_0} не разделяются. Для раздельного их вычисления необходимо задать тип распределения источников.

Мы видим, что основные характеристики структуры x_0, M_{x_0} и $\lambda L_{x_0}/M_{x_0}$ весьма мало отличаются от принятых нами на основании табл. 2. Основное различие звездных структур при двух типах $\varkappa$ заключается в том, что при $\varkappa = \text{const}$ конвективное ядро больше; в связи с этим характеристики структуры становятся ближе к политропным класса $3/2$ и получается меньшая концентрация материи: $\rho_c = 20{,}5\bar{\rho}$.

Таблица 4

x	T_1	p_1	ρ_1	x	T_1	p_1	ρ_1
0,00	1,000	1,000	1,000	5,00	0,245	$0{,}125 \cdot 10^{-1}$	$0{,}510 \cdot 10^{-1}$
0,50	0,983	0,958	0,975	5,50	0,195	$0{,}52 \cdot 10^{-2}$	$0{,}266 \cdot 10^{-1}$
1,00	0,935	0,845	0,904	6,00	0,154	$0{,}20 \cdot 10^{-2}$	$0{,}129 \cdot 10^{-1}$
1,50	0,856	0,677	0,791	6,50	0,118	$0{,}67 \cdot 10^{-3}$	$0{,}57 \cdot 10^{-2}$
2,00	0,762	0,507	0,665	7,00	0,087	$0{,}20 \cdot 10^{-3}$	$0{,}23 \cdot 10^{-2}$
2,50	0,652	0,346	0,530	7,50	0,060	$0{,}49 \cdot 10^{-4}$	$0{,}82 \cdot 10^{-3}$
3,00	0,544	0,211	0,388	8,00	0,036	$0{,}64 \cdot 10^{-5}$	$0{,}18 \cdot 10^{-3}$
3,50	0,451	0,117	0,259	8,50	0,015	$0{,}19 \cdot 10^{-6}$	$0{,}79 \cdot 10^{-4}$
4,00	0,370	$0{,}598 \cdot 10^{-1}$	0,161	8,9	0,000	0,000	0,000
4,50	0,328	$0{,}284 \cdot 10^{-1}$	$0{,}936 \cdot 10^{-1}$				

В табл. 4 приведен полный расчет конвективной модели при $\varkappa = \text{const}$.

ГЛАВА 3

ЗВЕЗДНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СООТНОШЕНИЯ «ПЕРИОД—СРЕДНЯЯ ПЛОТНОСТЬ ЦЕФЕИД» И ДРУГИХ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

В предыдущей главе были получены соотношения, позволяющие определить физические характеристики состояния материи внутри звезд при известных звездных структурах. Для уверенного расчета помимо общих теоретических соображений весьма существенно получить структурные характеристики из наблюдательных данных, относящихся хотя бы к некоторым классам звезд.

Особенности структур должны проявляться в динамических свойствах звезд. Поэтому можно рассчитывать, что некоторые наблюдаемые свойства переменных звезд позволят сделать заключения о характере структур этого класса звезд. Например, период пульсации Цефеид должен зависеть не только от абсолютного значения физических характеристик, но и от их распре-

деления внутри звезд. Теоретическое выяснение этой зависимости может быть произведено достаточно строго. Поэтому мы начнем с подробного рассмотрения этого вопроса.

Излучение энергии звездой должно вызывать рассеяние механической энергии колебаний. Вероятнее всего, что в переменных звездах энергия колебаний поддерживается и возникает за счет постоянно действующих источников звездной энергии: иными словами, они являются автоколебательными системами. Характер кривых колебаний яркости и скорости пульсации действительно указывает на нелинейность колебаний, характерную для автоколебательных систем. Для автоколебательных систем главную часть решения составляет гармоника с частотой, равной частоте собственных колебаний системы. Поэтому, не вникая в сущность процесса колебаний, можно получить значение периода пульсации как собственного периода малых линейных колебаний.

§ 1. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ПУЛЬСАЦИИ

Типичные Цефеиды имеют массы менее десяти солнечных масс, например для δ Cephei $M \cong 9M_\odot$. Из уравнения (2.34) следует, что в таком случае $\gamma_c < 0{,}1$, и Цефеиды должны удовлетворять простому выражению $L \sim M^3$ зависимости масса — абсолютная яркость. Таким образом, для этих звезд согласно нашим представлениям лучевое давление не играет большой роли, и мы можем при рассмотрении их внутреннего строения учитывать только газовое давление. Пренебрегая членами второго порядка малости, будем рассматривать линейные колебания. Задача получает значительное упрощение благодаря тому, что вариации температур должны соответствовать адиабатическим колебаниям почти для всей массы звезды за исключением лишь самых наружных ее слоев. Действительно, для получения наблюдаемых относительных вариаций эффективных температур порядка единицы среднее изменение энергии одного грамма за одну секунду должно быть порядка $\bar{\varepsilon}$, т. е. $\sim 10^2$, а следовательно, за полпериода около 10^8. С другой стороны, тепловая энергия единицы массы должна быть порядка Ω/M (как это следует из теоремы вириала), т. е. по формуле (2.5) порядка 10^{15} эрг. Таким образом, за время пульсации относительное изменение энергии составляет всего лишь 10^{-7}, откуда и следует, что пульсация звезд с весьма высокой точностью адиабатична. Допустим далее, что пульсация может быть описана простой стоячей волной с частотой $n/2\pi$:

$$V(r,\ t) = V(r)\sin nt;\quad a = \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = -n^2 V(r)\sin nt, \tag{3.1}$$

где $V(r)$ обозначает относительную амплитуду пульсации:

$$V(r) = \delta r/r.$$

В этих предположениях задача пульсации звезды была решена Эддингтоном.

Связывая координату r с одной и той же частицей, будем иметь уравнение непрерывности в следующем виде:

$$M_r = \text{const};\quad r^2\rho\, dr = \text{const}. \tag{3.2}$$

Пользуясь условием адиабатического изменения состояния $\frac{\delta p}{p} = \Gamma \frac{\delta\rho}{\rho}$ и беря вариации от второго равенства, находим

$$\frac{\delta p}{p} = -\Gamma\left[3V + r\frac{dV}{dr}\right]. \tag{3.3}$$

Очевидно, что уравнение движения

$$\frac{dp}{\rho\, dr} = -(g + a);\quad g = \frac{GM_r}{r^2}$$

с точностью до членов первого порядка может быть записано следующим образом:

$$\frac{d\delta p}{dr} = -a\rho + 4V\frac{dp}{dr}.$$

Подставляя в это уравнение формулу (3.3), получим уравнение пульсации Эддингтона

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{dV}{dr}\left[4 + \frac{r}{p}\frac{dp}{dr}\right] + \frac{V}{r\Gamma}\frac{1}{p}\frac{dp}{dr}\left[(3\Gamma - 4) - \frac{n^2 r}{g}\right] = 0. \tag{3.4}$$

Введем вместо r безразмерную переменную x, которой мы пользовались при изучении статических звезд. Как легко видеть,

$$\frac{g}{r} = 4\pi G\frac{\bar{\rho}_r}{3} = 4\pi G\rho_c\frac{M_x}{x^3}. \tag{3.5}$$

Подставляя выражение (3.5) в формулу (3.4), получаем следующее уравнение:

$$\frac{d^2V}{dx^2} + \frac{1}{x}\frac{dV}{dx}\left[4 + \frac{x}{p_1}\frac{dp_1}{dx}\right] - \frac{V}{x\Gamma}\frac{1}{p_1}\frac{dp_1}{dx}\left[(4 - 3\Gamma) + \frac{n^2}{4\pi G\rho_c}\frac{x^3}{M_x}\right] = 0. \tag{3.6}$$

Приведем это уравнение к самосопряженному виду. Умножая на $x^4 p_1$, находим

$$\frac{d}{dx}\left[x^4 p_1\frac{dV}{dx}\right] - Vx^3\frac{dp_1}{dx}\frac{4 - 3\Gamma}{\Gamma}\left[1 - \lambda\frac{x^3}{3M_x}\right] = 0, \tag{3.7}$$

где

$$\lambda = \frac{n^2}{4\pi G\rho_c(\Gamma - 4/3)}. \tag{3.8}$$

Задача определения периода пульсации сводится теперь к нахождению собственных значений λ, при которых дифференциальное уравнение (3.7) имеет решения, удовлетворяющие «естественным» граничным условиям:

$$x^4 p_1 \frac{dV}{dx} \Big|_0^{x_0} = 0. \qquad (3.9)$$

Формула (3.8) дает соотношение период — центральная плотность, а следовательно, и соотношение период — средняя плотность звезды. Очевидно, что λ зависит от структуры звезды. Значение λ должно быть порядка единицы. Если звезда имеет постоянную плотность, то $x^3/(3M_x)=1$ для всей звезды. В этом случае уравнение (3.7) имеет решение $V=\text{const}$, $\lambda=1$. Это решение определяет основное колебание. Для определения основных колебаний звезд других структур мы можем исходить из этого решения, применяя метод возмущений.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ УРАВНЕНИЯ ПУЛЬСАЦИИ МЕТОДОМ ВОЗМУЩЕНИЙ

Запишем уравнение пульсации в следующем виде:

$$(py')' + qy(1-\lambda\rho) = 0. \qquad (3.10)$$

Допустим, что нам известно решение этого уравнения при некоторой другой функции $\rho=\rho_0$:

$$(py_0')' + qy_0(1-\lambda_0\rho_0) = 0. \qquad (3.11)$$

Следовательно, будем считать, что функция y_0 и параметр λ_0 нам известны. Умножая (3.10) на y_0, (3.11) на y, вычитая одно из другого и интегрируя в пределах, для которых имеются граничные условия, находим

$$\int_0^{x_0} qyy_0[\lambda_0\rho_0 - \lambda\rho]\,dx = 0,$$

откуда

$$\lambda = \lambda_0 \frac{\int_0^{x_0} qyy_0\rho_0\,dx}{\int_0^{x_0} qyy_0\rho\,dx}. \qquad (3.12)$$

Предположим, что уравнение (3.10) мало отличается от уравнения (3.11):

$$\rho=\rho_0+\delta\rho; \quad y=y_0+\delta y \quad \text{и} \quad \lambda=\lambda_0+\delta\lambda.$$

Тогда точное выражение для $\delta\lambda$

$$\delta\lambda = -\lambda_0 \frac{\int_0^{x_0} qy_0 y\,\delta\rho\,dx}{\int_0^{x_0} qy_0 y\rho\,dx}$$

можно заменить следующим:

$$\delta\lambda = -\lambda_0 \frac{\int_0^{x_0} qy_0^2\,\delta\rho\,dx}{\int_0^{x_0} qy_0^2\rho\,dx}.$$

Таким образом, в первом приближении имеем

$$\lambda = \lambda_0 \frac{\int_0^{x_0} qy_0^2\rho_0\,dx}{\int_0^{x_0} qy_0^2\rho\,dx}. \qquad (3.13)$$

В нашем случае $y_0=1$ и $\lambda_0=1$. Сравнивая формулы (3.10) и (3.7), находим из (3.13)

$$\lambda = \frac{3\int_0^{x_0} x\rho_1 M_x\,dx}{\int_0^{x_0} x^4\rho_1\,dx}. \qquad (3.14)$$

Это выражение перепишем согласно формуле (2.5а) в следующем виде:

$$\lambda = \frac{9\int_0^{x_0} p_1 x^2\,dx}{\int_0^{x_0} \rho_1 x^4\,dx}. \qquad (3.15)$$

Если в формулу (3.8) вместо ρ_c ввести среднюю плотность звезды $\bar\rho$, то

$$\bar\lambda = \frac{\text{[illegible]}\,n^2}{4\pi G\bar\rho\,(\Gamma-4/3)}, \qquad (3.16)$$

$$\bar\lambda = \lambda\frac{\rho_c}{\bar\rho} = \frac{x_0^3}{3M_{x_0}}\lambda, \qquad (3.17)$$

как это следует из формулы (2.4). При помощи формул (2.6) и (3.17) можем переписать (3.15):

$$\bar{\lambda} = \frac{x_0^2 \Omega_{x_0} M_{x_0}}{I_{x_0}}, \tag{3.18}$$

где I_{x_0} обозначает безразмерный момент инерции:

$$I_{x_0} = \int_0^{x_0} \rho_1 x^4 \, dx. \tag{3.19}$$

Таблица 5

n	$\bar{\lambda}$
0	1,00
1	1,91
3/2	2,52
2	3,85
2,5	7,0
3	13,1

Выражения (3.16) и (3.18) определяют период колебаний звезды $P = 2\pi/n$ в зависимости от средней плотности звезды $\bar{\rho}$. Этот результат совершенно иным методом был получен Леду (Ledoux). Интересно, что выражения (3.16) и (3.18), как легко показать, вполне точно совпадают с формулой Леду [18].

Произведем вычисление λ для политропных структур. В этом случае для I_{x_0} можно получить следующее выражение:

$$I_{x_0} = x_0^2 M_{x_0} - 6(n+1)\int_0^{x_0} T_1 x^2 \, dx, \tag{3.20}$$

где n означает индекс политропы. Таким образом,

$$\frac{1}{\bar{\lambda}} = \frac{5-n}{3}\left[1 - 6(n+1)\frac{\int_0^{x_0} T_1 x^2 \, dx}{M_{x_0} x_0^2}\right]. \tag{3.21}$$

Вычисления дают следующую таблицу значений $\bar{\lambda}$ для различных классов политропии (табл. 5).

При больших $\bar{\lambda}$, т. е. при сильных отклонениях от единицы, точность данных этой таблицы должна ухудшаться. Поэтому для контроля точности метода интересно сопоставить полученные результаты при $n=3$ с вычислениями постоянной в зависимости период — средняя плотность, произведенными Эддингтоном, путем точного решения уравнения адиабатических колебаний звезды, построенной по его модели. Эддингтон на основании своих вычислений заключил, что для таких звезд $n^2/(\pi G \rho_c \Gamma) = (^3/_{10})(3 - 4/\Gamma)$. Отсюда, сопоставляя с формулой (3.8), находим $\lambda = {}^9/_{40}$. Следовательно, $\bar{\lambda} = \rho_c/\bar{\rho} \cdot {}^9/_{40} = 12{,}23$, что хорошо согласуется с нашими данными.

§ 3. СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РЕЗУЛЬТАТОВ С ДАННЫМИ НАБЛЮДЕНИЙ

Представим зависимость период — средняя плотность в следующем виде:

$$P\sqrt{\bar{\rho}_0} = c_1, \tag{3.22}$$

где P — период, выраженный в днях, и $\bar{\rho}_0$ — средняя плотность в долях средней плотности Солнца,

$$n = \frac{2\pi}{P \cdot 86\,400}; \quad \bar{\rho} = \bar{\rho}_0 \cdot 1{,}411.$$

При помощи формулы (3.16) легко получить следующую связь постоянных $\bar{\lambda}$ и c_1:

$$\bar{\lambda}(\Gamma - 4/3) = 0{,}447\,(10c_1)^{-2}. \tag{3.23}$$

Согласно результатам, полученным нами при анализе зависимости масса — абсолютная яркость, лучевое давление в звезде много меньше газового, и, поскольку внутренние области звезды состоят из водорода, тепловая энергия значительно превосходит энергию ионизации. Поэтому мы имеем все основания считать $\Gamma = {}^5/_3$ отношением теплоемкостей одноатомного газа. Следовательно,

$$\bar{\lambda} = 1{,}34\,(10c_1)^{-2}. \tag{3.24}$$

Чтобы выразить c_1 через наблюдаемые характеристики звезды, заменим в формуле (3.22) $\bar{\rho}_0$ через эффективную температуру и абсолютную величину по формуле масса—абсолютная яркость. Допустим, что соотношение масса — яркость имеет вид $L \sim M^{\alpha}$. Тогда, обозначая соответственно через $\bar{T}$ и M_b эффективную температуру по отношению к эффективной температуре Солнца и абсолютную величину звезды, из формулы (3.22) находим

$$\left(0{,}30 - \frac{1}{5\alpha}\right)(M_b - M_\odot) + \lg P + 3\lg \bar{T} = \lg c_1. \tag{3.25}$$

Из этой формулы видно, что для определения c_1 точное значение α несущественно, если только α достаточно велико (практически больше трех). Формула Эддингтона соотношения масса — яркость при больших массах имеет эффективное значение показателя α около двух (см. (2.53)). Поэтому значение $c_1 = 0{,}100$, которое получается при пользовании формулой Эддингтона, является завышенным. Применение формулы $L \sim M^{10/3}$, как

показал Паренаго [19], дает $c_1=0{,}071$. Тщательный анализ наблюдаемых данных по отдельным Цефеидам с применением эмпирической кривой Койпера масса — яркость привел Беккера (W. Becker) [20] к заключению, что в среднем $c_1 = 0{,}076$. Из этих определений по формуле (3.24) получается, что $\bar{\lambda}=2{,}7$ или 2,3, откуда на основании данных табл. 5 мы приходим к заключению, что Цефеиды имеют структуру, близкую к политропной класса $n={}^3/_2$. Таким образом, Цефеиды обладают весьма малой концентрацией материи: $\rho_c \cong 6\bar{\rho}$.

Качественно этот результат находится в согласии с естественным представлением о том, что интенсивность источников звездной энергии сильно возрастает с приближением к центру звезды. Однако даже разобранная в § 8 гл. 2 модель с точечным источником и постоянным коэффициентом поглощения, которая, как мы видели, дает наименьшую концентрацию материи, приводит к значительно большему отношению: $\rho_c/\bar{\rho}=20{,}5$. Таким образом, для этой модели $\bar{\lambda}$ должно получиться больше наблюдаемого. Действительно, вычисляя по данным табл. 4 $\int_0^{x_0} p_1 x^2\,dx=6{,}06$ и $I_{x_0}=140{,}0$, из формул (3.15) и (3.17) находим, что для этой модели с предельной концентрацией источников энергии $\bar{\lambda}=8{,}0$. Соответствующий класс политропии $n=2{,}5$. С переменным коэффициентом поглощения на основании вычислений Коулинга получается еще большее значение $\bar{\lambda}=8{,}4$.

В теоретических исследованиях периода пульсаций Эддингтона и других авторов расхождение теоретического значения $\bar{\lambda}$ для модели Эддингтона с наблюдаемым значением объяснялось влиянием лучевого давления. Исследование пульсации при γ_c, близких к единице, показывает, что полученные выражения периода пульсации при малых γ_c справедливы и в этом случае, если считать, что Γ представляет собой эффективное отношение теплоемкостей, заключающееся в зависимости от роли лучевого давления в пределах ${}^4/_3 \leqslant \Gamma_{eff} \leqslant {}^5/_3$.

Из выражения (3.23) следует, что при $\bar{\lambda}=12{,}23$ и наблюдаемом $c_1=0{,}075$ $\Gamma_{eff}=1{,}40$. Но Γ_{eff} должно меняться в зависимости от γ_c, т. е. в зависимости от роли лучевого давления. Для одноатомного газа согласно Эддингтону [21] и другим авторам эта зависимость может быть представлена следующим образом:

$$\Gamma_{eff} - 4/3 = \frac{1}{3}\,\frac{1+4\gamma_c}{(1+\gamma_c)(1+8\gamma_c)}\,. \tag{3.26}$$

При $\Gamma_{eff}=1{,}400$ получается $\gamma_c=1{,}5$. Будем считать, что это значение соответствует среднему значению периода Цефеид, т. е. $P=10^d$, и по соотношению масса — яркость массе $M=12M_\odot$. Может показаться, что этот результат хорошо согласуется с обычными представлениями о роли лучевого давления внутри звезд (см. § 7 гл. 2). Однако, поскольку λ_c зависит от массы звезды, для других периодов мы будем иметь согласно (3.26) другие значения Γ_{eff} и, следовательно, другие значения постоянной c_1. По формулам (3.26) и (3.23) можно вычислить изменение эффективного значения c_1 при переходе к звездам большого периода $20^d < P < 30^d$. Вместо найденного Беккером среднего значения $\lg c_1=-1{,}12$ для звезд таких периодов должно получаться $\lg c_1 \cong -1{,}00$. Хотя этот эффект и невелик, все же из наблюдений совершенно не видно такого систематического возрастания c_1 [20]. Таким образом, наше представление о малой роли лучевого давления в звездах, даже таких, как сверхгиганты, находят новое подтверждение, и этим подтверждаются результаты $\mu={}^1/_2$; $\varkappa=\varkappa_T$, полученные в главе 2.

§ 4. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ЗВЕЗДНЫХ СТРУКТУРАХ

Некоторые указания о структурах звезд можно извлечь из анализа эффекта эллиптичности в кривых блеска затменных переменных. Наблюдения позволяют определить отношение диаметров экваториального сечения звезды, различие которых вызвано приливной деформацией. При синхронном вращении звезды и всей системы сжатие вращения в первом приближении должно отличаться от экваториального на множитель, зависящий от масс компонент, который может быть вычислен. Таким образом, из наблюдаемого сжатия может быть определено сжатие в меридиональной плоскости ε — чистый эффект вращения. Согласно теории Клеро, ε пропорционально φ — отношению центробежной силы на экваторе к силе тяжести на поверхности звезды:

$$\varepsilon = \alpha\varphi; \quad \frac{\omega^2}{3\pi G\bar{\rho}} = \varphi,$$

где α — постоянная, зависящая от структуры звезды. Для политропных структур эта постоянная вычислялась рядом исследователей: Ресселл, Чандрасекар и др. При $n=0$ (однородная звезда) $\alpha=1{,}25$; $n=1$ $\alpha=15/(2\pi^2)=0{,}755$ и $n=5$ (предельная концентрация — модель Роша) $\alpha=0{,}50$. Как видно из этих чисел, постоянная α мало чувствительна к характеру структуры; поэтому определение этим способом класса n требует слишком большой точности наблюдений и мало надежно, несмотря на простоту теоретических предпосылок. Первые выводы, полученные Шапли (Shapley), о том, что звезды близки к однородности, были подтверждены Лейтеном (Luyten) [22], который

нашел как среднее из большого числа звезд $\alpha = 0,57$ для звезд типа β Lyrae и $\alpha = 0,71$ для звезд типа Алголя, что соответствует политропным структурам классов $n = 3/2$ и $n = 1$.

Наблюдаемое у некоторых затменных переменных движение линии апсид в ряде случаев объясняется эллиптичностью этих звезд. При сильной концентрации материи, несмотря на эллиптичность, звезды будут взаимодействовать как материальные точки, и движения линии апсид не будет. Поэтому скорость движения линии апсид должна быть в первом приближении пропорциональна величине $(\alpha - 1/2)$, которая, как видно из приведенных выше значений α, весьма чувствительна к характеру звездной структуры. Однако многочисленные теоретические исследования, посвященные этому вопросу, приводят к разноречивым выражениям для скорости движения линии апсид в зависимости от гипотез о характере вращения компонент пары. Первое исследование Рессслла предполагало, что компоненты вращаются как твердые тела. Применение этой теории к системе Y Cygni привело Ресселла и Дугана (Dugan) [23] к значению $(\alpha - 1/2) = 0,034$, соответствующему политропной структуре $3/2 < n < 2$. Другие исследователи при других предположениях получали n значительно большим: $n \cong 3$. По-видимому, можно утверждать только то, что, поскольку в системах звезд наблюдается движение линии апсид, в звездах нет высокой концентрации материи.

Таблица 6

n	k
0	1,00
1	0,65
3/2	0,52
2	0,40
2,5	0,28
3	0,20

В случае, если справедлив закон, высказанный Блэккеттом (Blackett) о постоянстве отношения магнитного момента P и углового момента U для всех вращающихся тел, получается другая интересная возможность определения звездной структуры. Обозначим через k отношение момента инерции звезды, вращающейся с угловой скоростью ω, к моменту инерции той же звезды при равномерном распределении ее плотности; тогда $U = (2/5) k\omega MR^2$, $k = (5/3)\,[I_{x_0}/x^2 M_{x_0}]$, где I_{x_0} — безразмерный момент инерции. При помощи формулы Блэккетта [24]

$$\frac{P}{U} = \beta \frac{G^{1/2}}{2c} \qquad (3.27)$$

(β — безразмерный множитель порядка единицы), зная напряжение магнитного поля на полюсе $H = 2P/R^3$, можно определить k. Применение этой формулы к Земле ($k = 0,88$) дает $\beta = 0,3$. Полагая для звезд $k = 0,16$, Блэккетт находит для Солнца и 78 Virginis, магнитное поле которой было измерено Бэбкокком (H. W. Babcock), $\beta = 1,14$ и $\beta = 1,16$ соответственно. Таким образом, если закон (3.27) действительно имеет универсальный характер и $\beta = 0,3$ для всех тел, для звезд должно быть

принято $k = 0,60$. Из сопоставления с данными табл. 6 следует, что $n \cong 3/2$. Для звездной модели, вычисленной в § 8 гл. 2, получается значение $k = 0,26$, которое значительно меньше требуемого. Эта же конвективная модель с переменным коэффициентом поглощения (модель Коулинга) дает еще меньшее значение: $k = 0,19$. Согласованность полученного значения n с другими рассмотренными выше определениями подтверждает справедливость закона Блэккетта. Возможно, что формула (3.27) должна быть написана без β со знаменателем $2\pi c$.

§ 5. ВЫВОДЫ О СТРУКТУРАХ ЗВЕЗД

Наиболее надежные заключения о структурах звезд получаются исходя из теории пульсации Цефеид. Цефеиды, по-видимому, имеют структуры, близкие к политропным класса $n = 3/2$, для которых $\rho_c = 6\bar{\rho}$. Этот вывод подтверждается совокупностью других соображений, из которых каждое, взятое в отдельности, может вызывать большие сомнения. Однако знаменательно, что различные свойства звезд различных типов приводят приблизительно к одинаковым результатам. Вероятно, звезды действительно близки к однородности, имея концентрацию материи, аналогичную большим планетам — Юпитеру и Сатурну. Такое распределение материи, как видно из рассмотренной нами предельной конвективной модели, не может быть объяснено высокой концентрацией источников энергии и особым видом коэффициента поглощения. Причина этого заключается в том, что в уравнение механического равновесия B входит через p в степени $1/4$, и, таким образом, это уравнение мало чувствительно к изменениям параметров уравнения теплового равновесия, определяющего B. Поэтому характеристики M_{x_0} и x_0, определяемые в основном характером функций ρ_1, меняются мало при разных моделях. Следовательно, для получения наблюдаемой малой концентрации материи можно пытаться внести изменения не в уравнение теплового, а в уравнение механического равновесия. Политропная модель $n = 3/2$ отличается от рассмотренных моделей с различными типами источников энергии меньшим x_0. Для уменьшения x_0 необходимо ускорить падение давления во внешних слоях звезды. Более быстрое падение давления получится, если внешние слои будут тяжелыми, т. е. при возрастании к поверхности молекулярного веса μ. Такое объяснение находится в полном соответствии с нашим представлением о большом содержании водорода во внутренних слоях звезд. Если допустить, что средний молекулярный вес меняется в звезде от $\mu = 1/2$ в центре до $\mu = 2$ во внешних слоях, то это сравнительно небольшое изменение молекулярного веса может оказаться достаточным.

Выясним влияние переменного μ при следующих упрощениях. Допустим, что μ зависит от температуры следующим образом:

$$\mu_1 = T_1^{-s}, \quad (3.28)$$

где s — некоторый положительный показатель. Возрастание к поверхности молекулярного веса должно вызвать возрастание коэффициента поглощения (переход от $\varkappa = \varkappa_T$ к $\varkappa = \varkappa_{ch}$). Но при источниках, быстро растущих к центру, величина $\varkappa_1 L_x / M_x$ может оставаться постоянной. При этом знаменитом упрощении Эддингтона будем решать нашу задачу. Если $\varkappa_1 L_x / M_x = \text{const} = 1$, то из уравнения (2.22а) следует, что

$$p_1 = B_1 = T_1^4 \quad (\lambda = 1). \quad (3.29)$$

Введем вместо T_1 характеристику

$$u_1 = \frac{T_1}{\mu_1} = T_1^{1+s} = \mu_1^{-\frac{1+s}{s}}. \quad (3.30)$$

С этой характеристикой уравнение идеальных газов будет иметь прежний вид: $p_1 = u_1 \rho_1$. Согласно (3.29)

$$p_1 = u_1^{\frac{4}{1+s}}. \quad (3.31)$$

Показатель $4/(1+s)$ мы должны приравнять к $n+1$ в соответствии с формулой (2.7а).

Таким образом,

$$\rho_1 = u_1^n; \quad n = \frac{3-s}{1+s}, \quad (3.32)$$

и функция u_1 будет определяться уравнением Эмдена класса n. Следовательно, для получения структуры $n = {}^3/_2$ должно быть $s = {}^3/_5$, т. е. сравнительно медленное увеличение молекулярного веса. При таком s μ увеличивается в 4 раза на расстоянии x_1 от центра звезды, определяемом значениями

$$\mu_1 = \left(\frac{1}{4}\right)^{8/3} = 0{,}025; \quad T_1 = \left(\frac{1}{4}\right)^{5/3} = 0{,}10. \quad (3.33)$$

Для $x > x_1$ μ_1 должно оставаться постоянным, и равновесие звезды будет определяться обычными уравнениями. Однако при значениях (3.33) уже исчерпана основная масса звезды (см., например, табл. 4), и к политропной структуре $n = {}^3/_2$ получатся сравнительно небольшие поправки. Действительно, из таблиц функции Эмдена при $n = {}^3/_2$ видно, что $x_1 = 5{,}6$ и $M_{x_1} = 11{,}0$. Применяя теперь формулу (2.27а), находим $x_0 = 7{,}0$ вместо $x_0 = 6$ при политропной структуре. Приведенный расчет показывает, что наблюдаемые звездные структуры* подтверждают полученный из анализа соотношения масса — яркость результат о большом содержании водорода внутри звезд. Однако следует иметь в виду, что содержание водорода во внешних слоях звезд на самом деле очень значительно. Поэтому во всей звезде $\mu < 2$ и вопрос об однородности звездных структур вряд ли исчерпывается приведенным здесь рассуждением.

Мы видели, что безразмерная масса M_x мало меняется для различных звездных моделей. Для политропных структур при $n = {}^3/_2$ и $n = 2$ для конвективных моделей и моделей, приведенных в табл. 2, получается приблизительно одинаковое значение. Поэтому с достаточной уверенностью можно принять $M_{x_0} = 11$. Что касается x_0, то в соответствии с наблюдаемыми звездными структурами, по-видимому, следует остановиться на значении $x_0 = 6$. Тогда $\rho_c = 6{,}5\bar{\rho}$. Для получения из наблюдаемой кривой масса — яркость $\varkappa = \varkappa_1$ должно быть $\lambda L_{x_0} / M_{x_0}^3 = 1{,}0 \times 10^{-3}$. Таким образом, получается $\lambda L_{x_0} = 1{,}5$. Теперь мы имеем возможность по формулам (2.28), (2.30) и (2.31) рассчитать физические условия внутри любой звезды. Произведем этот расчет для Солнца. Полагая $\mu_c = {}^1/_2$, находим

$$\begin{gathered} \rho_c = 9{,}2; \quad P_c = 9{,}5 \cdot 10^{15}; \\ \gamma_c = 0{,}4 \cdot 10^{-?}; \quad B_c = 3{,}8 \cdot 10^{12}; \\ T_c = 6{,}3 \cdot 10^6 \text{ град.} \end{gathered} \quad (3.34)$$

Из этих данных наиболее надежно значение γ_c, поскольку оно зависит только от характеристики M_x. Столь низкая температура в центре Солнца — около шести миллионов градусов — получилась благодаря малым значениям μ_c и x_0. При таких температурах вряд ли возможно объяснение происхождения звездной энергии термоядерными реакциями: эти реакции не смогут обеспечить необходимого выхода энергии.

Полученные результаты делают возможным дальнейшие исследования о внутреннем строении звезд. В частности, открывается путь физической интерпретации диаграммы Ресселла—Гертцшпрунга, которая уже самым тесным образом связана с вопросом происхождения звездной энергии.

Указатель литературы

1. Bethe H. A. Energy Production in Stars//The Physical Review. 1939. Vol. 55. N 5. P. 434—456.

* Следует заметить, что учет переменности молекулярного веса не изменяет формул, определяющих период пульсации Цефеид. Переменность μ влияет на результат лишь изменением структуры звезды.

2. Schwarzschild K. Ueber das Gleichgewicht der Sonnenatmosphäre// Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch—physikalische Klasse. 1906. H. 1. S. 41—53.
3. Schmidt W. Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Hamburg, 1925. 120 S. (Probleme der Kosmischen Physik; Bd 7).
4. Milne E. A. The Analysis of Stellar Structure//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1930. Vol. 91. N 1. P. 4—55.
5. Kuiper G. P. Note on Hall's Measures of ε Aurigae//The Astrophys. Journ. 1938. Vol. 87. N 2. P. 213—215.
6. Паренаго П. П. Физические характеристики субкарликов//Астрон. журн. 1946. Т. 23. Вып. 1. С. 37.
7. Chandrasekhar S. The Highly Collapsed Configurations of a Stellar Mass. (Second Paper)//Monthly Notices of the Royal Astron. Soc. 1935. Vol. 95. N 3. P. 217.
8. Kuiper G. P. The Empirical Mass-Luminosity Relation//The Astrophys. Journ. 1938. Vol. 88. N 4. P. 472—507.
9. Russell H. N., Moore Ch. E. The masses of the stars with a general catalogue of dynamical parallaxes. Chicago, 1946. 236+IX p. (Astrophysical Monographs).
10. Trumpler R. J. Observational evidence of a relativity red chift in class O stars//Publications of the Astron. Soc. of the Pacific. 1935. Vol. 47. N 279. P. 254.
11. Parenago P. P. The mass-luminosity relation//Астрон. журн. 1937. Т. 14. Вып. 1. С. 46.
12. Baize P. Les masses des étoiles doubles visuelles et la relation empírique masse-luminosité//Bulletin Astronomique [Paris]. 1947. T. 13, fasc. 2. P. 123—152.
13. Eddington A. S. The internal constitution of the stars. Cambridge, 1926. P. 153.
14. Chandrasekhar S. An introduction to the study of stellar structure. Chicago, 1939. P. 412 (Astrophysical Monographs).
15. Eddington A. S. The internal constitution... P. 135.
16. Strömgren B. 1) The opacity of stellar matter and the hydrogen content of the stars//Zeitschrift für Astrophysik. 1932. Bd 4. H. 2. S. 118—152; 2) On the Interpretation of the Hertzsprung-Russell-Diagram//Zeitschrift für Astrophysik. 1933. Bd 7. H. 3. S. 222—248.
17. Cowling T. G. The Stability of Gaseous Stars. (Second Paper)//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1935. Vol. 96. N 1. P. 57.
18. Ledoux P. On the Radial Pulsation of Gaseous Stars//The Astrophys. Journ. 1945. Vol. 102. N 2. P. 143—153.
19. Паренаго П. П. Курс звездной астрономии. М.; Л., 1938. С. 200.
20. Becker W. Spektralphotometrische Untersuchungen an δ Cephei—Sternen. X//Zeitschrift für Astrophysik. 1940. Bd 19. H. 4/5. S. 297.
21. Eddington A. S. The internal constitution... P. 191.
22. Luyten W. J. On the Ellipticity of Close Binaries//Monthly Notices of the Royal Astron. Soc. 1938. Vol. 98. N 6. P. 459—466.
23. Russell H. N., Dugan R. S. Apsidal Motion in Y Cygni and other Stars//Monthly Notices of the Royal Astron. Soc. 1930. Vol. 91. N 2. P. 212—215.
24. Blackett P. M. S. The magnetic field of massive rotating bodies//Nature. 1947. Vol. 159. N 4046. P. 658—666.

ТЕОРИЯ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЗВЕЗД И ИСТОЧНИКИ ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ

Часть II

Диаграмма Рессела — Гертцшпрунга, преобразованная к физическим условиям внутри звезд, показывает, что производительность энергии в звездах является однозначной функцией физических условий. Вместо линии пересечения поверхности тепловыделения и поверхности теплоотдачи получается заполнение звездами некоторой области в плоскости плотности и температуры. Поверхности сливаются, и это доказывает, что из двух условий существует только одно — условие теплоотдачи. Таким образом, выделение энергии звездами происходит не в результате реакций. Звезды — это машины, вырабатывающие радиацию. Наблюдаемое соотношение теплоотдачи, т. е. зависимость «масса—яркость—радиус», не может быть объяснено обычными физическими законами. Звезды существуют как раз в тех условиях, где классические законы нарушаются и становится возможным особый механизм выделения энергии. Эти условия определяются основным направлением и лежащей на нем основной точкой. Физические координаты основной точки найдены при помощи наблюдательных данных. Эти постоянные должны входить в теорию внутреннего строения звезд, адекватную наблюдениям. Подробно показана несостоятельность объяснения звездной энергии ядерными реакциями и соответствующих расчетов процентного содержания в звездах водорода и гелия. Рассмотрены особенности некоторых последовательностей диаграммы Рессела — Гертцшпрунга, имеющие теоретический интерес.

ГЛАВА 1

ДИАГРАММА РЕССЕЛА — ГЕРТЦШПРУНГА И ПРИРОДА ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ

§ 1. ОБЪЯСНЕНИЕ ДИАГРАММЫ ТЕОРИЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЗВЕЗД

Диаграмма Рессела—Гертцшпрунга связывает абсолютную яркость звезды L со спектральным типом или с эффективной температурой звезды T_{ef}. С точки зрения теории внутреннего строения звезд вместо эффективной температуры удобнее пользоваться радиусом R, который получается при помощи L и T_{ef} по закону Стефана—Больцмана

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{ef}^4, \quad \sigma = \frac{1}{4} ac,$$

Козырев Н. А. Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.

где c — скорость света и α — постоянная плотности лучистой энергии. Таким образом, диаграмма Рессела—Гертцшпрунга равносильна зависимости $L(R)$ или $M(R)$, если воспользоваться соотношением «масса—яркость». Благодаря существованию ряда последовательностей звезд: главной, гигантов, карликов и т. п., эти зависимости не однозначны и выражены не четко. В настоящем параграфе мы покажем, что для большинства звезд зависимости $L(R)$ или $M(R)$ самым тесным образом связаны с характером выделения звездной энергии. Сущность зависимости $L(R)$ станет ясна, если перейти от наблюдаемых характеристик звезд: массы M, яркости L и радиуса R — к параметрам, определяющим физические условия внутри звезд. Вопрос о методе таких расчетов и их точности подробно рассматривался в первой части настоящей работы [1]. Полезно будет воспроизвести сущность этих расчетов элементарным образом.

Прежде всего получается средняя плотность звезды

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}. \tag{1.1}$$

Далее из условия механического равновесия легко находим некоторое среднее давление. Это давление должно уравновешивать столб с основанием в один квадратный сантиметр и длиной порядка R: $p \approx g\rho R$. Так как $g \approx GM/R^2$, то

$$p \approx \frac{3G}{4\pi}\frac{M^2}{R^4}. \tag{1.2}$$

Что касается температуры, то ее естественно вычислять по потоку выходящей из звезды энергии F_R:

$$F_R = \frac{L}{4\pi R^2}, \tag{1.3}$$

поскольку поток всегда связан с перепадом температур. Зная характер энергетического транспорта и пользуясь выражениями (1.1) или (1.2), получим

$$T = f(L, M, R). \tag{1.4}$$

Например, при лучевом транспорте ((1.16), ч. I)

$$F_R = -\frac{c}{\varkappa\rho}\frac{dB}{dr}, \tag{1.5}$$

где $\varkappa$ — коэффициент поглощения на единицу массы и B — лучевое давление:

$$B = \frac{1}{3}\alpha T^4. \tag{1.6}$$

Лучевым давлением B будет часто удобно пользоваться вместо температуры. По формуле (1.3) приближенно можно писать

$$B \approx \frac{\varkappa F_R}{c}\rho R,$$

откуда при помощи (1.1) и (1.3) находим

$$B \approx \frac{3LM}{(4\pi)^2 cR^4}\varkappa. \tag{1.4a}$$

При известной зависимости $\varkappa$ от B и ρ формула (1.4a) полностью приводит к выражению (1.4). Итак, выражения (1.1), (1.2) и (1.4a) позволяют вычислить для любых звезд некоторые средние значения плотности, давления и температуры. Точные значения физических параметров для какой-нибудь точки в звезде, например в центре, могут быть получены умножением этих же выражений на некоторые безразмерные «структурные» множители. Структурные коэффициенты были подробно изучены в первой части настоящей работы как математически, посредством решения безразмерных дифференциальных уравнений механического и лучевого равновесий, так и эмпирически — анализом динамических свойств некоторых звезд.

Значения ρ, p и T, вычисляемые по формулам (1.1), (1.2) и (1.4), должны быть связаны между собой уравнением фазового состояния материи. Следовательно, получается первая связь

$$F_1(L, M, R) = 0, \tag{1.7}$$

практически не зависящая от характера выделения энергии в звездах.

Например, для звезды, построенной из идеального газа,

$$p = \frac{\Re T}{\mu}\rho.$$

Деля выражение (1.2) на выражение (1.1), находим

$$T \approx \frac{G}{\Re}\mu\frac{M}{R}; \quad B \approx \frac{\alpha G^4}{3\Re^4}\mu^4\frac{M^4}{R^4} \tag{1.8}$$

и

$$\gamma = \frac{B}{p} \approx M^2\mu^4. \tag{1.9}$$

Сравнивая выражение (1.8) с формулой (1.4a), справедливой при лучевом транспорте энергии, получим зависимость (1.7) в явном виде

$$L \approx M^3\frac{\mu^4}{\varkappa}. \tag{1.7a}$$

В качестве другого примера рассмотрим звезду, состоящую из вырожденного газа

$$p \approx \rho^{5/3}.$$

Тогда из формул (1.1) и (1.2) следует

$$RM^{1/3} = \text{const}. \tag{1.7б}$$

Таким образом, здесь сразу получается зависимость типа (1.7), из которой выпало L.

В формулу (1.7а), справедливую для идеального газа, R может войти только через $\varkappa$. Поэтому эта формула представляет собой соотношение «масса—яркость», которое приблизительно согласуется с наблюдениями ($L \sim M^3$) в предположении $\mu^4/\varkappa = \text{const} = 0{,}08$. Приведенные расчеты справедливы при малом лучевом давлении: $\gamma < 1$. Как видно из формулы (1.9), для достаточно массивных звезд γ может стать больше единицы. Тогда формула (1.2) будет определять не газовое давление, а лучевое:

$$B \approx \frac{M^2}{R^4}.$$

Сравнивая теперь это выражение с формулой (1.4а), находим

$$L \approx \frac{M}{\varkappa} \tag{1.7в}$$

У сверхгигантов с известными L и M мы не наблюдаем таких громадных вариаций M, которые вытекают из этой формулы. Поэтому в главе 2, ч. I, мы пришли к заключению, что для $M \leqslant 100 M_{\odot}$ $\gamma \leqslant 1$, откуда по формуле типа (1.9) получается $\mu = 1/2$. Следовательно, $\varkappa = 0{,}8 \approx$ коэффициенту томсоновского рассеяния. Весьма интересно, что лучевое давление, по-видимому, накладывает предел существованию больших звездных масс, хотя такой предел и не следует из рассмотрения возможностей равновесия звезд.

До сих пор мы не пользовались условием теплового равновесия звезды, которое требует равенства теплопроизводительности и теплоотдачи. Средняя теплопроизводительность одного грамма материи звезды может, следовательно, вычисляться по формуле

$$\varepsilon = L/M. \tag{1.10}$$

С другой стороны, если производительность энергии определяется некоторыми реакциями, то ε будет функцией ρ и T, характер которой зависит от кинетики данной реакции. Таким образом, формулы (1.10), (1.1), (1.4) и уравнение реакции требуют существования второй зависимости

$$F_2(L,\ M,\ R) = 0, \tag{1.11}$$

которая целиком определяется типом выделения звездной энергии. Для идеального газа R из первой зависимости $F_1 = 0$ выпадало; поэтому (1.11) преобразуется в соотношение $L(R)$ или $M(R)$, зависящее непосредственно от характера источников звездной энергии. Для вырожденного газа картина получается обратной. Как мы видели, в этом случае соотношение $M(R)$ не зависит от источников энергии, связь же между массой и яркостью получается из уравнения (1.11).

§ 2. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДИАГРАММЫ РЕССЕЛА — ГЕРТЦШПРУНГА К ФИЗИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗД

Наша задача заключается в выяснении тех процессов, которые происходят в звездах и приводят к образованию энергии. Для ее решения мы должны знать физические условия внутри звезд, т. е. должны от наблюдаемых характеристик L, M и R перейти к физическим параметрам.

Будем обозначать штрихом сверху величины, выраженные в долях их значений для Солнца. Допуская, что все звезды имеют одинаковые структуры, можно совершенно строго по формулам (1.1), (1.2), (1.10) вычислить следующие центральные характеристики звезд:

$$\overline{p}_c = \overline{M}^2/\overline{R}^4;\quad \overline{\rho}_c = \overline{M}/\overline{R}^3;\quad \overline{\varepsilon}_c = \overline{L}/\overline{M}. \tag{1.12}$$

Даже при различных звездных структурах малоправдоподобно, чтобы эти формулы могли привести к принципиально искаженным результатам. Как выяснилось в предыдущем параграфе, для вычисления температуры или лучевого давления существуют два пути, однако каждый из них связан с определенными гипотезами. Во-первых, лучевое давление может быть вычислено через поток энергии, т. е. через ε по формуле (1.4а). Точное выражение этого соотношения [см. ч. I (1.27)] имеет следующий вид:

$$B_c = \frac{\varepsilon_c \varkappa_c}{4\pi G c \lambda}\, p_c, \tag{1.13}$$

где λ — параметр системы безразмерных уравнений равновесия, численное значение которого порядка единицы. Во-вторых, лучевое давление может быть вычислено в случае идеального газа из формул (1.12) непосредственно:

$$\overline{B}_c \overline{\mu}^{-4} = (\overline{p}_c/\overline{\rho}_c)^4 = \overline{M}^4/\overline{R}^4. \tag{1.14}$$

Формулы (1.13) и (1.14) должны приводить к одному результату. Напомним, что из этого требования и вытекает соотношение «масса—яркость». Гипотеза идеального газа для всех

звезд, за исключением белых карликов, кажется столь обоснованной, что совершенно естественно пользоваться для расчета температуры или лучевого давления простой формулой (1.14). Действительно, как было указано еще Эддингтоном [2], при температурах в несколько миллионов градусов атомы даже тяжелых элементов будут из-за ионизации занимать столь малые объемы (порядка одной миллионной нормальных размеров), что поправки Ван-дер-Ваальса будут малы и при плотностях, намного превышающих единицу. Однако в плазме могут оказаться существенными электростатические взаимодействия между частицами, которые приведут к отрицательному давлению, сообщающему газу свойства «сверхидеального газа». Приближенная теория этих явлений для сильных электролитов была разработана Дебаем и Хюккелем и применена к звездному газу Эддингтоном и Росселландом. Эти авторы пришли к согласному результату о том, что электрическое давление не может оказывать существенного влияния на внутреннее строение звезды. Не вдаваясь в подробности этой сложной теории, можно сразу показать, что электрическое давление не существенно для звезд, построенных из водорода. Сравним для этого кинетическую энергию частиц с энергией кулоновского взаимодействия:

$$kT > z^2e^2/r.$$

При соблюдении этого неравенства газ будет идеальным. Возводя в куб, получаем

$$(kT)^3/n = (kT)^4/p > z^6e^6,$$

где n — число частиц в единице объема. Так как лучевое давление B выражается формулой

$$B = \frac{\pi^2}{45}\,\frac{(kT)^4}{(\hbar c)^3}, \tag{1.6a}$$

то можно сказать, что газ будет идеальным при условии, когда отношение лучевого давления к газовому

$$\gamma > \frac{\pi^2 z^6}{45}\left(\frac{e^2}{\hbar c}\right)^3.$$

Это отношение по формуле (1.9) определяется массой звезды. Так как $\gamma = 1$ при $\overline{M} = 100$, то $\gamma^{1/2} \approx \overline{M}/100$. Итак, для идеального газа получается условие, зависящее только от массы звезды:

$$100M_\odot > M > \frac{100\pi}{\sqrt{45}}\,z^3\left(\frac{e^2}{\hbar c}\right)^{3/2} M_\odot. \tag{1.15}$$

Для водорода или один раз ионизованных элементов $z = 1$. Постоянная тонкой структуры в степени $^3/_2$ — порядка $(^1/_2) \times 10^{-3}$. Следовательно, в водородной звезде электрическое давление может играть роль только при массах, меньших одной-двух сотых массы Солнца.

Поразительно, что из возможных состояний материи в звездах осуществляются как раз те состояния, которые с теоретической точки зрения кажутся наиболее простыми.

Для каждой звезды, зная $\overline{M}$ и $\overline{R}$, мы можем теперь по формулам (1.12) и (1.14) вычислить $\overline{\rho}_c$ и $\overline{T}_c$ в предположении одинакового молекулярного веса для всех звезд ($\overline{\mu} = 1$). Диапазон, в котором заключены параметры физического состояния материи различных звезд, очень велик: $10^{-8} < \overline{\rho}_c < 10^6$; $10^{-2} < \overline{T}_c < 10^2$; $10^{-3} < \overline{\varepsilon}_c < 10^4$. Поэтому для графического представления приходится пользоваться логарифмическим масштабом. Будем откладывать по оси абсцисс $\lg \overline{\rho}_c$, а по оси ординат для однородности масштабов $4 \lg \overline{T}_c$, т. е. $\lg \overline{B}_c$. Если существует закон образования энергии типа $\varepsilon_c = \varphi(\rho_c, T_c)$, то, откладывая $\lg \overline{\varepsilon}_c$ по оси апликат, мы получим некоторую поверхность. С другой стороны, условие равновесия требует выполнения формулы (1.13). Поэтому конфигурации равновесия будут возможны только по линии пересечения этих двух поверхностей. Следовательно, в плоскости $\lg \overline{\rho}_c$, $\lg \overline{B}_c$ звезды должны расположиться по некоторой кривой, являющейся преобразованием зависимости $M(R)$ к физическим характеристикам звезд. На этой кривой можно разметить значения отрезков апликат, т. е. значения $\lg \overline{\varepsilon}_c$.

§ 3. КРИВАЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

Уравнение выделения энергии при термонуклеарных реакциях имеет следующий вид:

$$\varepsilon = A\rho\tau^2 e^{-\tau}; \quad \tau = \frac{a}{T_M^{1/3}}, \tag{1.16}$$

где через T_M обозначается температура, выраженная в миллионах градусов. Например, для протон-протонной реакции постоянные имеют следующие значения:

$$a = 33{,}8; \quad A = 4 \cdot 10^3. \tag{1.17}$$

Чтобы найти интересующую нас кривую зависимости ρ_c от B_c, по которой при ядерных источниках энергии должны расположиться звезды, исключим ε_c из этой формулы при помощи условия (1.13):

$$\lambda 4\pi G c B_c = A\varkappa_c p_c \rho_c \tau_c^2 e^{-\tau_c}. \tag{1.18}$$

Как показывает экспоненциальный множитель формулы (1.16), ε весьма чувствительно к изменениям температуры. Поэтому внутри таких звезд должно существовать ядро свободной конвекции, как это было подробно разобрано в § 8 гл. 2, ч. I. В этом же параграфе было показано что для звезд с конвективным ядром параметр λ не вычисляется отдельно: совместность уравнений равновесия определяет лишь произведение λL_{x_0}, где L_{x_0} — безразмерная яркость:

$$L_{x_0}=\int_0^{x_0}\varepsilon_1\rho_1 x^2\,dx. \qquad (1.19)$$

В этом выражении x_0 обозначает безразмерный радиус (см. гл. 1, ч. I). Значки при функциях обозначают, что эти функции выражены в долях их значений в центре. В нашем случае

$$L_{x_0}=\int_0^{x_0}\rho_1^2\tau_1^2 e^{-(\tau_1-\tau_c)}x^2\,dx.$$

Так как этот интеграл распространен на конвективную зону, в которой $\rho_1=T_1^{3/2}$, то

$$L_{x_0}(\tau_c)=\int_0^{x_0}T_1^{1/3}x^2 e^{-\tau_c\left[\frac{1}{T_1^{1/3}}-1\right]}\,dx. \qquad (1.20)$$

Интеграл $L_{x_0}(\tau_c)$ может быть легко вычислен численно, пользуясь решением Эмдена $T_1(x)$ для политропы класса $^3/_2$. Вычисления показывают, что значения этого интеграла при разных τ_c практически мало отличаются от единицы. Например,

$$L_{x_0}(33{,}8)=0{,}67;\quad L_{x_0}(7{,}3)=1{,}15.$$

В случае протон-протонной реакции (см. (1.17)) первое значение L_{x_0} отвечает температуре в центре, равной одному миллиону градусов, а второе — ста миллионам. Принимая $L_{x_0}\approx 1$, из табл. 3 (ч. I) находим, что для звезд с постоянным коэффициентом поглощения $\lambda\approx 3$.

В первой части настоящей работы было подробно обосновано, что средний молекулярный вес в звездах равен $^1/_2$ и что звезды имеют структуры, близкие к политропе класса $^3/_2$. При таких условиях для Солнца получается температура порядка $6\cdot 10^6$ градусов. Поэтому углеродно-азотный цикл Бете как источник звездной энергии маловероятен, и мы в качестве примера ядерных реакций рассмотрим только протон-протонную

реакцию. Пользуясь значениями постоянных (1.17), из формулы (1.18) получаем

$$\lg_{10}\rho_c=+0{,}217\tau_c-5{,}5\lg_{10}\tau_c+5{,}26-\frac{1}{2}\lg_{10}\frac{\varkappa_c}{\mu}. \qquad (1.21)$$

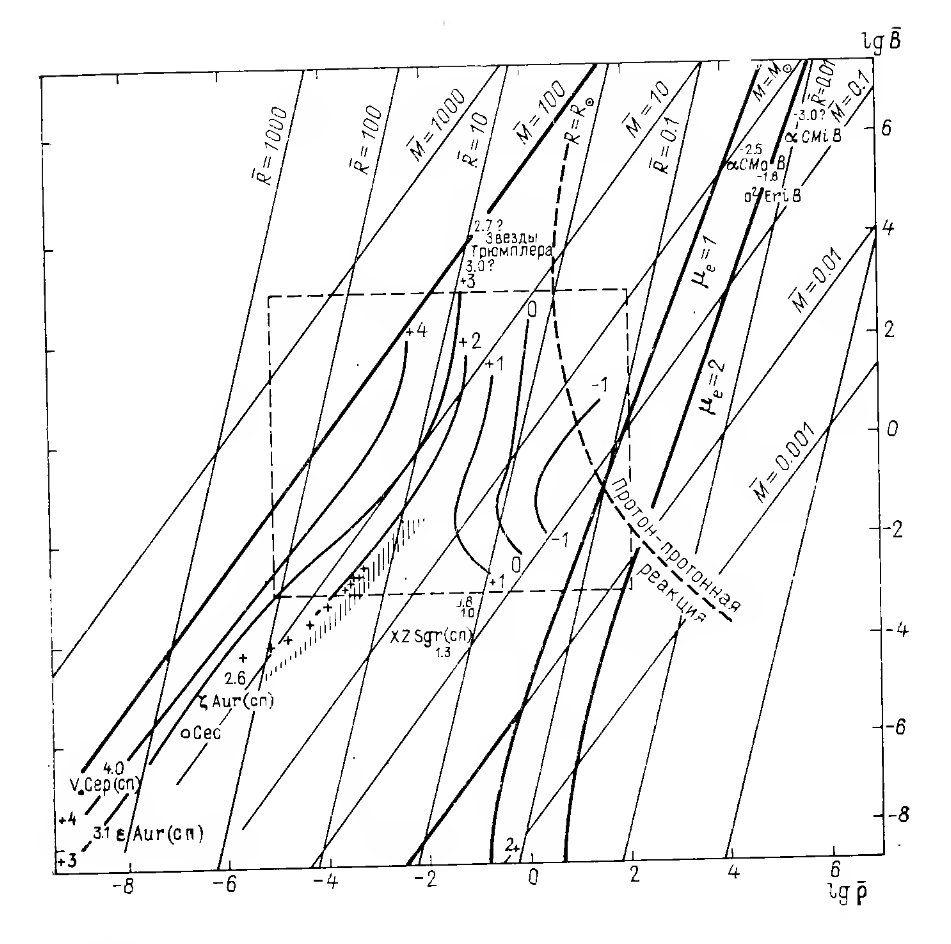
При постоянном $\varkappa_c/\mu$ из этой формулы видно, что ρ_c имеет очень пологий минимум в зависимости от температуры, когда $\tau_c=11$, что соответствует $T_c\approx 30\cdot 10^6$ град. Для чисто водородной звезды с томсоновским коэффициентом поглощения последний член формулы (1.21) равен нулю и минимальное значение $\rho_c=100$. Следовательно, на диаграмме ρ_c, B_c звезды должны располагаться около этой точки почти на прямой: $\rho_c\approx 100$. В грубом приближении звезды главной последовательности удовлетворяют этим требованиям. Поэтому может казаться, что механизм выделения энергии ядерными реакциями объясняет свечение большинства звезд. Однако эта иллюзия совершенно исчезает при переходе к практическому расчету диаграммы ($\lg\bar{\rho}_c$, $\lg\bar{B}_c$) по имеющемуся материалу звездной астрономии.

§ 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВЕЗД НА ДИАГРАММЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В настоящее время приблизительно для двухсот звезд известны все три параметра: масса, абсолютная болометрическая величина и спектральный тип. При наших исследованиях мы должны пользоваться только независимыми определениями этих величин. Поэтому нельзя пользоваться абсолютными величинами, найденными методом спектроскопических параллаксов, поскольку этот метод в принципе основывается на зависимости «масса—яркость».

Для звезд главной последовательности мы использовали опубликованную Ломанном [3] в 1948 г. сводку этих данных по работам П. П. Паренаго и Койпера. По затменным переменным — сводки Д. Я. Мартынова [4], Гапошкина [5] и некоторые другие данные. Наконец, особо интересные данные, касающиеся сверхгигантов, субкарликов и субгигантов, были взяты из работ П. П. Паренаго [6], Койпера [7] и Струве [8]. Ряд важных сведений о массах субкарликов был лично сообщен профессором П. П. Паренаго, которому автор глубоко признателен за эту помощь и за критическую дискуссию разбираемых материалов. В результате было использовано около ста пятидесяти звезд.

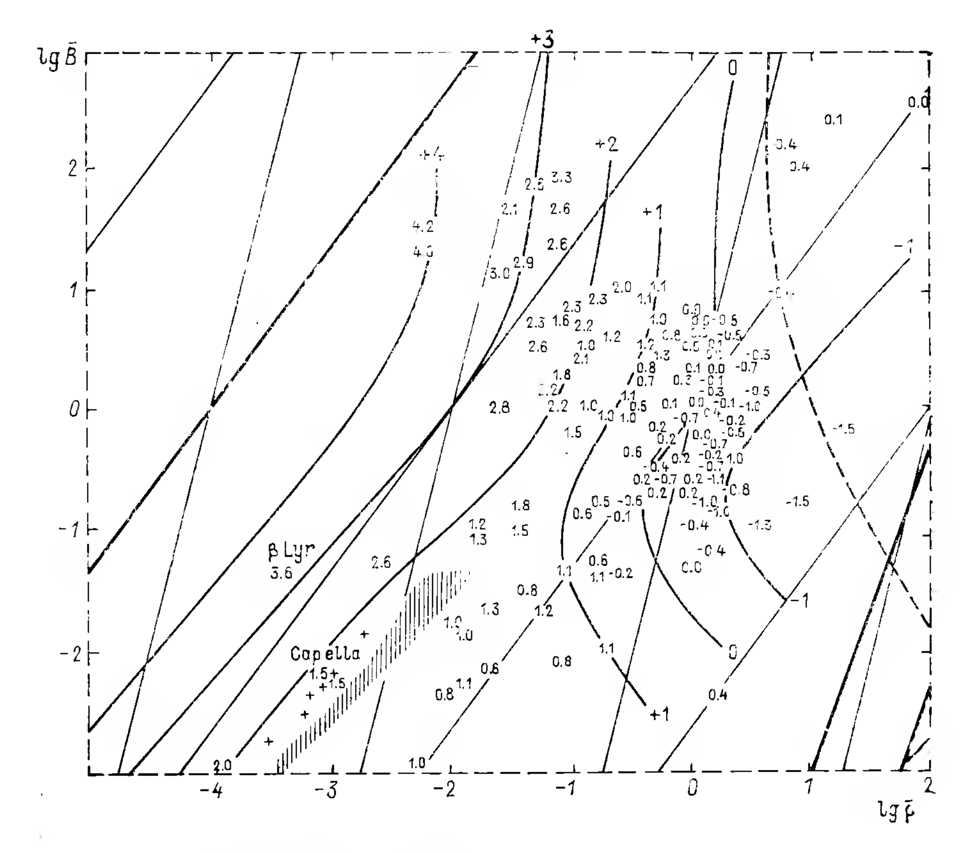
Абсолютные болометрические величины были получены упомянутыми авторами при помощи тригонометрических параллаксов и болометрических поправок, найденных эмпирически (Петтит и Никольсон, Койпер). Для перехода от спектрального типа к эффективных температурам мы пользовались температурной



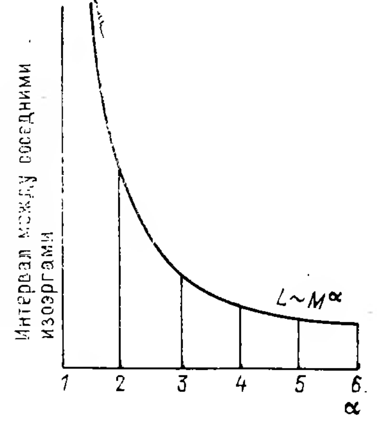
шкалой Койпера, после чего радиус звезды вычислялся по формуле

$$5 \lg \overline{R} = +4{,}62 - m_b - 10 \lg \overline{T}_{\text{ef}}, \qquad (1.22)$$

где m_b — болометрическая величина звезды. Далее при помощи формул (1.12) и (1.14) были вычислены для каждой звезды: $\lg \overline{\rho}_c$, $\lg \overline{B}_c$ и $\lg \overline{\varepsilon}_c$. Результаты этих вычислений представлены на прилагаемой диаграмме (фиг. 1), на которой по оси абсцисс отложены $\lg \overline{\rho}_c$, а по оси ординат — $\lg \overline{B}_c$, т. е. логарифмы плотности лучистой энергии. Каждая звезда изображается точкой, заменяющей запятую в написанном значении $\lg \overline{\varepsilon}_c$, т. е. логарифма производительности энергии одним граммом в секунду по отношению к производительности энергии грамма



Фиг. 1. Производительность энергии и распределение звезд в зависимости от внутренних физических условий.
Ось абсцисс — $\lg_{10}$ плотности материи, ось ординат — $\lg_{10}$ плотности лучистой энергии. (Диаграмма состоит из трех частей.)



Солнца. На этой диаграмме для удобства ориентации построена сетка линий постоянных масс и постоянных радиусов. Жирные линии слева и справа ограничивают область, в которой с теоретической точки зрения должен выполняться закон идеальных газов; в этой области как раз и располагаются звезды. Линия слева ограничивает область существенных лучевых давлений ($\gamma = 1$). Прямая линия внизу (справа) — область больших электрических давлений; она построена согласно формуле (1.15)

для водорода. Эта линия приводит к границам вырождения газа, вычисленным для водорода и для случая тяжелых элементов. Обозначим через n_e число свободных электронов в кубическом сантиметре. Вводя μ_e — молекулярный вес, рассчитанный на один электрон,

$$\rho = \mu_e m_{\rm H} n_e,$$

можно условие вырождения Зоммерфельда

$$\frac{n_e h^3}{2} \frac{1}{(2\pi m_e kT)^{3/2}} > 1 \qquad (1.23)$$

переписать в следующем виде:

$$\rho > \mu_e T^{3/2} \cdot 10^{-8}. \qquad (1.24)$$

Переходя в этой формуле к переменным p и ρ, получим уравнение границы вырождения

$$p = k\mu_e^{5/3}\rho^{5/3},$$
$$\bar{p} = k\frac{\rho_\odot^{5/3}}{p_\odot}\rho^{-5/3}\mu_e^{5/3}, \qquad (1.25)$$

которое практически совпадает с уравнением состояния газа Ферми

$$k \approx k_{\rm H} = 9{,}89 \cdot 10^{12}.$$

Мы будем пользоваться для Солнца значениями, найденными в первой части настоящей работы (3.34):

$$\rho_c = 9{,}2;\ \ p_c = 9{,}5 \cdot 10^{15};$$
$$\gamma_c = 0{,}4 \cdot 10^{-3};\ \ B_c = 3{,}8 \cdot 10^{12}; \qquad (1.26)$$
$$T = 6{,}3 \cdot 10^6,$$

тогда

$$\bar{p} = 4 \cdot 10^{-2}\rho^{-5/3}\mu^{5/3}.$$

Изображенные на фигуре границы построены для: $\mu_e = 1$ и $\mu_e = 2$. Вместе с тем это линии, по которым должны располагаться звезды, построенные из вырожденного газа, т. е. линия зависимости «масса—радиус» Чандрасекара. При этом, разумеется, ось ординат имеет смысл как ось $\lg(\bar{p}/\bar{\rho})^4$, превращающаяся только для идеального газа в ось логарифмов плотности лучистой энергии. В этом же смысле на эту диаграмму нанесены белые карлики и из планет—Юпитер. При малых давлениях, вблизи границы больших электрических взаимодействий, линии вырождения изгибаются и переходят в линии постоянной плотности, что связано с уменьшением ионизации давлением и образованием нормальных атомов. Эти кривые построены согласно теории Котари [9] «ионизации давлением». Здесь видно одно из замечательных следствий теории Котари, что максимальный радиус, который может иметь холодное тело, порядка радиуса Юпитера.

Наконец, на этой же диаграмме изображена кривая, по которой должны располагаться звезды в случае протон-протонной реакции. Эта кривая построена согласно формуле (1.21), причем для Солнца использованы приведенные выше значения ρ_c и T_c (1.26).

Написанные у каждой звезды значения $\lg\bar{\varepsilon}_c$ позволяют построить систему «изоэрг» — линий одинаковой производительности энергии. На диаграмме эти линии проведены через интервал, соответствующий десятикратному изменению $\bar{\varepsilon}_c$. Если для звезд существует соотношение «масса — яркость», в которое не входит радиус, то $\bar{\varepsilon}_c$ должно быть также функцией только массы. Следовательно, изоэрги должны быть параллельны линиям постоянных масс. Допустим, что соотношение «масса — яркость» имеет вид

$$L \sim M^\alpha, \qquad (1.27)$$

тогда интервал между соседними изоэргами должен уменьшаться с увеличением α так, как это представлено масштабом в третьей части диаграммы. Мы видим, что реальная картина совершенно не соответствует формуле (1.27). Только для гигантов и в центральной части главной последовательности (центр диаграммы) изоэрги идут приблизительно параллельно линиям постоянных масс с интервалом, соответствующим $\alpha = 3{,}8$. В остальном линии постоянных $\bar{\varepsilon}_c$ удивительно симметрично изгибаются, особенно в области субгигантов (нижняя часть чертежа) и в области горячих субкарликов (верх чертежа справа). Как видно из следующих соображений, эти искривления вполне реальны. В центральном сгущении звезд, соответствующем главной последовательности, уже намечаются две противоположные тенденции искривления. Здесь имеется большой материал, и изоэрги проводятся вполне уверенно. Эти искривления в точности соответствуют нарушениям зависимости «масса — яркость» для звезд главной последовательности, обнаруженные Ломанном в цитированной выше работе. Замечательно, что, усиливая эту тенденцию книзу, мы получим для субгигантов — спутников Алголей — наблюдаемые аномально большие яркости — обстоятельство, рассмотренное Струве [8]. Например, для спутника XZ Sagittarii согласно Струве яркость в десять тысяч раз превосходит яркость, вычисляемую по обыч-

ной зависимости «масса — яркость». Получаются также обнаруженные П. П. Паренаго [6] аномально большие яркости субкарликов малых масс. Увеличение противоположной тенденции вверх подтверждается пониженными светимостями особо горячих звезд и ведет далее к звездам Трюмплера. Реальность масс звезд Трюмплера, определенных только по красному смещению Эйнштейна, вызывает сомнения. Поэтому на диаграмме помещены только две из этих звезд умеренной массы. В области субгигантов и субкарликов больших и малых масс ε почти постоянно и не зависит от массы. Лишь для всех звезд в среднем чрезвычайно грубым приближением получается результат, использованный в первой части настоящей работы: $L \sim M^3$.

Итак, первый вывод, который можно сделать из рассмотрения диаграммы, заключается в том, что уклонения от зависимости «масса — яркость» реальны и не могут быть отнесены за счет систематических неточностей материала. Возможность надежного проведения линий постоянных $\bar{\varepsilon}_c$ сама по себе замечательна: она показывает, что по крайней мере в первом приближении ε есть однозначная функция ρ и B. Следовательно, и L есть однозначная функция M и R. Сомнения вызывает лишь область, расположенная внизу, слева от центра диаграммы, где получается некоторое несоответствие значений L у субкарликов типа F—G и нормальных карликов типа M. Скорее всего, это несоответствие только кажущееся, вызванное неточностью оценок масс и радиусов субкарликов.

В целом участке плоскости ρ, B наша диаграмма воспроизводит в горизонталях поверхность ε(ρ, B). Получилось значительно больше того, на что можно было рассчитывать теоретически; мы должны были получить не поверхность, а только одно из сечений этой поверхности. Особенно это заметно в центральной части диаграммы, где расположены звезды главной последовательности. По сути дела здесь нет никакой последовательности; звезды совершенно не обнаруживают тенденции располагаться на какой-либо кривой. Таким образом, из двух уравнений, определяющих ε, на самом деле существует только одно. Получается следующий, весьма ответственный вывод: теплопроизводительность звезды определяется только теплоотдачей. Таким образом, механизм выделения энергии звездами не типа реакций, а типа выделения энергии при остывании или освобождении гравитационной энергии при сжатии. Действительно, при остывании и сжатии количество выделяемой энергии определяется скоростью процесса; скорость же регулируется теплоотдачей. Из-за неприемлемо коротких сроков остывания механизм Гельмгольца — Кельвина, разумеется, только пример. Но явления в звездах должны быть того же типа саморегулирования. В отличие от реакций такой процесс выделения энергии может быть назван машиной. Однако надо иметь в виду, что, несмотря

на многоообразие осуществляемых конфигураций, заполнение звездами плоскости ρ, B имеет существенные ограничения. Наблюдаемое распределение можно описать следующим образом.

Во-первых, существует одно основное направление, около которого группируются звезды в громадном диапазоне состояний, — это последовательность гигантов, середина главной последовательности, субкарлики типа А и белые карлики. Для того чтобы подчеркнуть существенность этого направления, на диаграмму нанесена штрихованной полоской главная масса нормальных гигантов, положение которых найдено при помощи изображенных на фигуре изоэрг. Отмеченное основное направление удивительно точно идет под углом 45°. Следовательно, звезды группируются по линии, определяемой уравнением

$$B \sim \rho\mu^4. \tag{1.28}$$

Так как этому направлению удовлетворяют звезды, состоящие, возможно, из вырожденного газа, то строгой формулировкой будет условие

$$p \sim \rho^{5/3}. \tag{1.28a}$$

Во-вторых, на основном направлении (1.28) существует точка — центр главной последовательности, вокруг которой звезды разбросаны на бóльшие расстояния, чем обычно, и здесь их особенно много.

Таким образом, должны существовать две универсальные константы, от которых зависит поведение материи в звездах: 1) коэффициент уравнения (1.28) и 2) одна из координат основной точки, поскольку вторая координата определяется тем же уравнением (1.28). С этими же константами связана отмеченная выше симметрия поверхности ε.

Заканчивая общее описание диаграммы, заметим, что эта диаграмма может иметь и практическое значение для оценок массы звезд по яркости и спектральному типу. Действительно, вычислив радиус звезды, можно, передвигаясь по соответствующей линии $R = \text{const}$, найти точку, для которой $\lg \bar{\varepsilon} + \lg \bar{M}$ дает наблюдаемое значение $\lg \bar{L}$.

§ 5. НЕСОСТОЯТЕЛЬНОСТЬ ОБЪЯСНЕНИЯ ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ ТЕРМОНУКЛЕАРНЫМИ РЕАКЦИЯМИ БЕТЕ

Может казаться, что существование отмеченного выше основного направления, по которому располагаются звезды, говорит в пользу механизма выделения энергии типа реакций. На самом же деле уравнение этого направления (1.28) противоречит кинетике любой возможной реакции. Действительно, уравнение (1.28) может вытекать из условия (1.13) в случае

$$\varepsilon \sim \frac{1}{T} \quad \text{при} \quad \rho \sim T^4, \tag{1.29}$$

т. е. когда при понижении температуры или при понижении плотности увеличивается выход энергии. Не только ход ε (1.29), но и численное значение $\varepsilon \approx 10^3 - 10^4$ у гигантов и сверхгигантов при низких температурах этих звезд (порядка сотен тысяч градусов) не может быть, как хорошо известно, объяснено ядерными реакциями. Поэтому возможность ядерных реакций сразу же ограничивается областью главной последовательности звезд.

Изображенная на диаграмме кривая протон-протонной реакции не проходит через область главной последовательности. Чтобы сдвинуть эту кривую, придется или изменить постоянную A уравнения реакции (1.16), или изменить принятые нами физические характеристики центра Солнца (1.26). Из уравнения (1.18) видно, что сдвиг кривой реакции вдоль оси плотностей равен корню квадратному из изменения постоянной A. Следовательно, согласовать протон-протонную реакцию с главной последовательностью звезд можно, принимая $A = 10^5$, 10^6 вместо $4 \cdot 10^3$. Столь большая неточность в теоретической оценке постоянной реакции A кажется едва ли допустимой. Поэтому остается отказаться от принятых нами центральных характеристик Солнца и, следовательно, игнорировать всю аргументацию первой части работы в пользу водородного состава звезд и перечисленные там наблюдательные данные, показывающие малую степень концентрации материи в звездах. Тогда для звезд главной последовательности можно получить температуры около 20 миллионов градусов, при которых будет идти не только протон-протонная реакция, но и углеродно-азотный цикл Бете.

В настоящее время все теоретические исследования по внутреннему строению звезд следуют этому пути. Единственный довод, который приводится в пользу большой концентрации материи в звездах, — это медленные движения линий апсид тесных звездных пар. Однако сводка движений линий апсид, опубликованная Лейтеном, Струве и Морганом [10], показывает полное отсутствие корреляции между скоростью этого движения и отношением радиуса звезды к полуоси орбиты. Между тем эта корреляция должна быть обязательно, если движение апсид связано с деформацией фигур тела. Поэтому можно вполне согласиться с заключением упомянутых авторов, что не существует теории, удовлетворительно объясняющей наблюдаемые движения апсид. Допустим все же, что кривая ядерных реакций может пройти через область главной последовательности. Тогда остается еще объяснить, почему звезды не следуют этой кривой, а заполняют некоторую область. Это обстоятельство относят на счет дисперсии параметров, входящих в основные уравнения, т. е. допускают различие химического состава звезд, их структур и т. п. Остановимся несколько подробнее на возможности такого рода объяснений.

Идея переменного химического состава звезд была введена в теорию внутреннего строения звезд Стремгреном [11] в 1932 г., еще до появления гипотезы ядерных источников энергии. Теоретически было известно лишь условие теплоотдачи (1.13), которое для идеального газа приводило к зависимости «масса — абсолютная яркость» (1.7а). В главе 2, ч. I, было подробно показано, что теоретическая зависимость (1.7а) согласуется в пределах точности материалов Стремгрена с наблюдаемой зависимостью простейшим предположением рассеивающих звезд, состоящих из водорода (томсоновский коэффициент рассеяния, не зависящий от физических условий). В силу некоторых априорных представлений (см. гл. 2, ч. I, § 7) Эддингтон, Стремгрен и другие авторы пошли иным путем, относя непрозрачность звездной материи за счет тяжелых элементов, образующих так называемую ресселову смесь. Однако теория поглощения этой смеси дает такую зависимость $\varkappa(\rho, B)$, которая, будучи подставлена в формулу (1.7а), не приводит к удовлетворительному согласию с наблюдениями. Стремгрен показал, что выход из этой трудности получается при предположении различного процентного содержания в звездах тяжелых элементов $(1-X)$, от которого зависит результирующий эффект поглощения $\varkappa$. Содержание легких элементов X может при этом рассматриваться как процентное содержание водорода. Согласование теоретической формулы с наблюдаемой зависимостью «масса — яркость» позволяет вычислить функцию $X(\rho, B)$ или $X(M, R)$. С физической точки зрения эта поверхность Стремгрена может иметь следующий смысл. Как мы знаем, уравнение теплоотдачи накладывает определенное условие на теплообразование. Это условие вида (1.13), которое через $\varkappa$ и μ зависит от химического состава звезды. Допустим, что состав характеризуется одним параметром X. Тогда

$$\varepsilon = f_1(\rho, B, X). \tag{I}$$

При процессах типа реакций теплообразование ε будет зависеть от тех же переменных по закону данной реакции:

$$\varepsilon = f_2(\rho, B, X). \tag{II}$$

Получается условие $f_1 = f_2$, которое будет тождественно выполняться лишь при определенной зависимости $X(\rho, B)$. Параметр X меняется в ограниченных пределах: $0 \leqslant X \leqslant 1$, и соответственно звезды будут заполнять некоторую область плоскости ρ, B. Некоторые детали диаграммы Рессела—Гертцшпрунга могут получиться в результате дополнительного условия, налагаемого на $X(M, R)$. Так, Стремгрен показал, что кривые $X = \text{const}$ напоминают отчасти распределения звезд на этой диаграмме. В этом направлении были особенно интересны исследования Койпера [12], который нашел, что звезды открытых скоп-

лений располагаются по одной из кривых Стремгрена $X=\mathrm{const}$ и значения X различны для разных скоплений. В этом результате, показывающем, что скопления звезд отличаются процентным содержанием водорода, можно было видеть глубокий эволюционный смысл — указание на роль ядерных превращений в жизни звезд.

Работа Стремгрена подготовила возможность проверки выдвигаемых гипотез звездной энергии: подставляя в уравнение реакции (II) найденную зависимость $X(\rho, B)$, мы должны получить хорошо известную зависимость (I). Уравнение ядерных реакций (1.16), в которое через A входит X, не выдержало этого контроля. Поэтому в теорию пришлось ввести второй независимый параметр Y — процентное содержание гелия. Теперь получается возможность каждую функцию f_1 и f_2 в отдельности приравнять функции $\varepsilon(\rho, B)$, известной из наблюдений. Производя такие вычисления для многих звезд, можно в идеале получить две поверхности: $X(\rho, B)$ и $Y(\rho, B)$. Однако существование этих двух поверхностей уже не вытекает из условия равновесия звезд. Остается непонятным, почему такие поверхности существуют, т. е. почему наблюдаемое ε является однозначной функцией ρ и B. Такой результат очень трудно объяснить и эволюционными изменениями X и Y при одностороннем превращении элементов. Конечно, для малого избранного участка плоскости (ρ, B) эволюционное толкование изменений X и Y может оказаться удовлетворительным. Так, например, в расчетах А. Г. Масевич [13] для некоторым образом расположенных звезд между спектральными типами B и G получилось монотонное убывание водорода. Вместе с тем далее от типа G к M содержание водорода опять увеличивается (см. цитированную выше работу Ломанна, табл. 5). Придется считать, что эволюция идет разными путями; но тогда результат, согласно которому химический состав полностью определяется физическими условиями, может быть естественным лишь при равновесном превращении элементов. В этом случае механизм свечения звезд становится тем же процессом Гельмгольца — Кельвина. Ядерные превращения будут при этом обстоятельством второстепенным, изменяющим только теплоемкость газа. Но равновесное превращение элементов совершенно исключается, так как оно возможно при температурах в десятки миллиардов градусов, которые заведомо не осуществляются в звездах.

Изложенное показывает, что полученные поверхности $X(\rho, B)$ и $Y(\rho, B)$ являются, скорее всего, вычислительным результатом, результатом подгонок формул (I) и (II) к наблюдаемой зависимости $\varepsilon(\rho, B)$. Следуя этому пути, мы едва ли придем к решению загадки энергетики и эволюции звезд. Приведенные соображения относятся не только к ядерным реакциям; они показывают также малую правдоподобность любых источников энергии, производительность которых не зависит от условий

теплоотдачи. Действительно, совпадение поверхностей (I) и (II) говорит об их математической тождественности, т. е. что второго условия просто не существует.* Мы возвращаемся к заключению предыдущего параграфа: существуют некоторые специальные физические условия — основное направление (1.28) и основная точка плоскости ρ, B, вблизи которых материя звезды может производить столько энергии, сколько требуется на покрытие расхода. Иными словами, звезды — это машины, вырабатывающие энергию; теплоотдача же является регулятором мощности этих машин.

§ 6. ЗАВИСИМОСТЬ «МАССА — АБСОЛЮТНАЯ ЯРКОСТЬ» В СВЯЗИ С ДИАГРАММОЙ РЕССЕЛА—ГЕРТЦШПРУНГА

Яркость звезд, состоящих из идеального газа, при передаче энергии лучеиспусканием и малом лучевом давлении определяется формулой (1.7а). Точное выражение этой формулы приведено в первой части настоящей работы (2.38). Перепишем эту формулу в следующем виде:

$$\bar{\varepsilon}=\frac{\bar{L}}{\bar{M}}=1{,}04\cdot 10^4\,\frac{\mu^4}{\varkappa_c}\left(\frac{\lambda L_{x_0}}{M_{x_0}^3}\right)\bar{M}^2, \tag{1.30}$$

где M_{x_0} — безразмерная масса и $\varkappa_c$ — значение коэффициента поглощения в центре звезды. Там же было показано, что структурный множитель этой формулы для всех физически обоснованных звездных моделей приблизительно одинаков и имеет значение

$$\lambda L_{x_0}/M_{x_0}^3 \cong 2\cdot 10^{-3}. \tag{1.31}$$

Истинный вид зависимости «масса — яркость» представлен на диаграмме (фиг. 1) системой изоэрг: $\bar{\varepsilon}=\bar{L}/\bar{M}=\mathrm{const}$. Если не обращать внимания на значения радиусов и строить график зависимости $\bar{L}$ только от $\bar{M}$, то получается при большой дисперсии точек некоторая усредненная зависимость вида, изображенного на фиг. 1, ч. I. Приблизительно яркость оказывается пропорциональной кубу массы. Как уже упоминалось, сопоставление этого результата с формулой (1.30) показывает, что лучевое давление не играет большой роли в звездах и что звезды почти целиком состоят из водорода.

Теперь, зная, что дисперсия точек на усредненной зависимости «масса — яркость» не случайна, следует произвести сопоставление точной зависимости с формулой (1.30) и проверить справедливость упомянутых выводов.

* Для реакций выход энергии увеличивается с возрастанием плотности. Для теплоотдачи зависимость обратная — уравнение (1.13). Поэтому над плоскостью ρ, B поверхности (I) и (II) должны быть наклонены в противоположные стороны и их пересечение должно быть весьма резким.

Первый вывод о малой роли лучевого давления в механическом равновесии гигантов получает полное подтверждение. Действительно, сравнение формул (1.7в) и (1.7а) показывает, что с усилением роли лучевого давления зависимость ε от M должна сильно ослабевать, т. е. расстояния между соседними изоэргами должны увеличиваться при переходе к большим массам. Такая тенденция у звезд больших масс совершенно отсутствует; постоянство ε получается совсем в других условиях — выше справа и ниже слева центра диаграммы. Из этого результата при помощи формулы (1.9) (точное выражение (2.47), ч. I) следует, что гиганты состоят в основном из водорода ($\mu = 1/2$). Вычислим далее значение коэффициента поглощения для гигантов. Из диаграммы видно, что красные гиганты с массой $\approx 20 M_{\odot}$ имеют $\lg \bar{\varepsilon} = 3$. Пользуясь формулами (1.30) и (1.31), находим

$$\varkappa_c/\mu^4 = 8. \qquad (1.32)$$

При $\mu = 1/2$ отсюда следует $\varkappa_c = 0{,}5$. Этот результат показывает, что непрозрачность гигантов обусловлена томсоновским рассеянием света на свободных электронах ($\varkappa_T = 0{,}40$), как это и должно быть в чисто водородной звезде.

Основной особенностью зависимости «масса — яркость» является систематическое искривление изоэрг в плоскости ρ, B. Покажем, что эти искривления трудно объяснить изменениями коэффициента при $\bar{M}^2$ в формуле (1.30). Сначала рассмотрим множитель, содержащий молекулярный вес и коэффициент поглощения.

Характер искривления изоэрг показывает, что при одной и той же плотности вверху диаграммы располагаются аномально слабые звезды, а внизу — аномально яркие. Следовательно, левая часть выражения (1.32) должна увеличиваться при высокой температуре и уменьшаться при низкой. С физической точки зрения такой ход изменения коэффициента поглощения с температурой весьма неправдоподобен. Кроме того, для случаев крайних уклонений получаются неприемлемые численные значения коэффициента (1.32). Так, для субгигантов — звезд с низкой температурой — этот коэффициент в 100 раз меньше, чем у гигантов. Даже для звезд из тяжелых элементов отсюда получается значение $\varkappa$ всего лишь около единицы. Для горячих же сверхгигантов (в направлении к звездам Трюмплера) коэффициент (1.32) порядка 200. При высоких температурах этих звезд коэффициент поглощения вряд ли может иметь необходимое для этого столь большое значение.

Остается рассмотреть возможность уклонений зависимости «масса — яркость» из-за изменений структурного множителя (1.31). Тогда этот коэффициент должен быть аномально большим у звезд с увеличенной светимостью (субгигантов) и аномально малым у звезд типа Трюмплера. Прежде всего заметим, что безразмерная масса M_{x_0}, входящая в структурный коэффициент, не может сильно меняться, как это было подробно показано в первой части. Большие изменения коэффициента могут поэтому происходить только благодаря изменениям λL_{x_0}. Из системы безразмерных дифференциальных уравнений равновесия звезд легко получается уравнение ((2.22) ч. I)

$$\frac{dB_1}{dp_1} = \frac{\lambda L_x}{M_x}, \qquad (1.33)$$

где B_1 и p_1 — значения лучевого давления и газового, выраженные в долях их значений в центре звезды. Кроме того, здесь для простоты коэффициент поглощения принят постоянным: $\varkappa_1 = 1$. Применяя это уравнение к наружным слоям, получаем следующее значение структурного коэффициента:

$$\lambda L_{x_0}/M_{x_0} = B_1/p_1. \qquad (1.34)$$

Обозначим значком 0 значения функций на границе перехода наружных слоев в зону глубоких, с особым режимом физических условий. Рассмотрим два крайних случая температурных градиентов этой глубокой зоны:

1) внутренняя зона изотермична:
тогда

$$\lambda L_{x_0}/M_{x_0} = 1/\rho_{1_0}; \qquad (1.34а)$$

2) внутренняя зона конвективна: $B_1 = p_1^{8/5}$
и

$$\lambda L_{x_0}/M_{x_0} = \rho_{1_0}. \qquad (1.34б)$$

В первом случае, распространяя изотермическую зону до поверхности звезды, можно получить структурный коэффициент сколь угодно большим. Таким образом, этот случай соответствует субгигантам и вообще аномально ярким звездам. Второй случай может объяснять аномально слабые звезды. Этим путем расширения конвективной зоны внутри звезд Туоминен [14] пытался объяснить слабые светимости звезд Трюмплера.

Приблизительная изотермия появится в том случае, когда энергия вырабатывается преимущественно в наружных слоях звезды. Расширение же конвективной зоны за пределы, допускаемые критерием Шварцшильда, может произойти, если выделение энергии сопровождается перемещениями газовых масс, т. е. в случае вынужденной конвекции. Настоящее физическое объяснение должно связать эти особенности выделения энергии с условиями внутри звезд или с общими характеристиками звезд: L, M, R. Прежде чем пытаться исследовать теорети-

скую возможность такой связи, следует установить ее характер по наблюдательному материалу. Деля значения $\bar{\varepsilon}$ для каждой звезды на $\overline{M}^2$, можно получить зависимость коэффициента при $\overline{M}^2$ формулы (1.30) от ρ и B. Построенная таким образом диаграмма имеет настолько путаный вид, без ясных закономерностей, так что ее нет смысла и воспроизводить. Само же ε является значительно более простой функцией ρ и B. Вообще говоря, причина должна быть проще следствий. Поэтому скорее всего структурный коэффициент является вычисляемым результатом, и причина наблюдаемых несоответствий зависимости «масса — яркость» с формулой (1.30) заключается в том, что само это уравнение (1.30) составлено неправильно. Это значит, что неверно формулированы основные уравнения равновесия звезд. Такое заключение согласуется с выводом предыдущих параграфов о том, что выделение звездной энергии происходит по типу машин, длительность работы которых не совместима с обычными принципами термодинамики и механики.

§ 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОСТОЯННЫХ СОСТОЯНИЯ ЗВЕЗДНОЙ МАТЕРИИ

Теоретическое соотношение «масса — абсолютная яркость» (1.30) получается в результате сравнения значений B, вычисленных по потоку выходящей из звезды энергии, т. е. по формулам (1.4а) или (1.13) и по уравнению фазового состояния материи — при помощи p и ρ (1.14). Несоответствие теоретической зависимости (1.30) наблюдениям можно поэтому рассматривать как несоответствие между собой этих значений B. Обозначим через B^* лучевое давление, вычисляемое по потоку энергии, сохранив обозначение B для лучевого давления, вычисляемого по уравнению идеального газа. Из формул (1.4а) или (1.13) видно, что при лучевом транспорте энергии

$$\overline{B}^*/\bar{\varkappa} = \bar{\varepsilon}\bar{p}. \tag{1.35}$$

По этой формуле для каждой звезды, отмеченной на диаграмме (фиг. 1), можно сосчитать $\overline{B}^*/\bar{\varkappa}$ и в результате найти зависимость этой величины от p и ρ. Фиг. 2 изображает преобразованную таким образом диаграмму. На этом чертеже по оси абсцисс отложены lg ρ, а по оси ординат lg p. Чтобы не осложнять чертеж, все звезды не показаны: нанесено лишь положение Солнца, белых карликов, некоторых гигантов и проведены линии постоянных $\overline{B}^*/\bar{\varkappa}$ через интервал десятикратного изменения. Эти линии воспроизводят поверхность lg $B^*/\varkappa$ (lg ρ, lg p)

и при постоянном $\varkappa$ дают систему изотерм. Если $B^* = B$, то должна получиться система параллельных прямых, расположенных под углом 45°, с интервалом 0,25 по оси lg p. Как видно, реальная картина совершенно иная. Поразительна симметрия поверхности $\overline{B}^*/\varkappa$. Начало координат помещено в центре симметрии — это и есть основная точка, о которой упоминалось в § 4. Координаты этой точки по отношению к Солнцу получаются следующими:

$$\lg \bar{\rho}_0 = -0{,}58; \quad \lg \bar{p}_0 = -0{,}53;$$
$$\lg \overline{B}_0 = +0{,}22; \quad \lg \overline{B}_0^* = +0{,}50;$$
$$\lg \bar{\varepsilon}_0 = +1{,}03. \tag{1.36}$$

По этим данным можно вычислить, что основной точке соответствует звезда главной последовательности спектрального типа A_4. Поворачивая около этой точки диаграмму (фиг. 2) на 180°, мы получим почти прежнюю картину, и только логарифмы изотерм переменят знаки. Следовательно, если

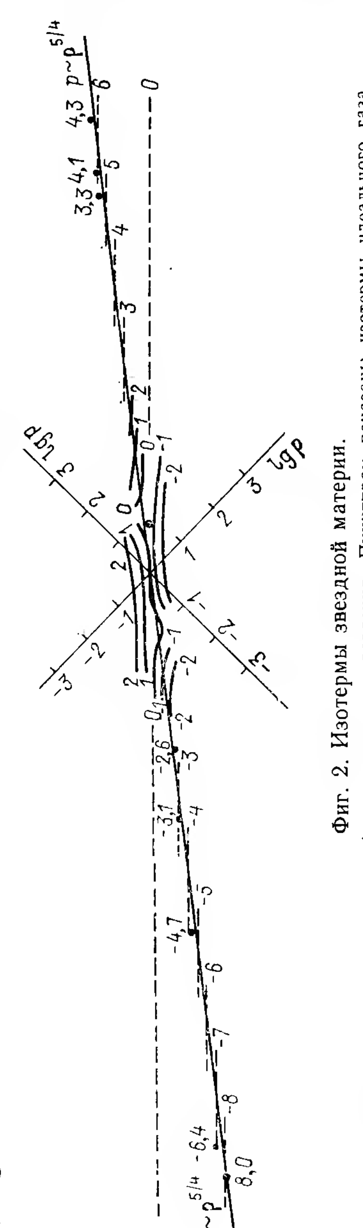
$$\frac{B^*/\varkappa}{B_0^*/\varkappa} = f\left(\frac{p}{p_0}, \ \frac{\rho}{\rho_0}\right),$$

то

$$f\left(\frac{p}{p_0}, \ \frac{\rho}{\rho_0}\right) f\left(\frac{p_0}{p}, \ \frac{\rho_0}{\rho}\right) = 1. \tag{1.37}$$

Соотношение (1.37) справедливо для центральной части диаграммы. Исключение составляют белые карлики, для которых значение $B^*/\varkappa$ приблизительно в 100 раз меньше требуемого формулой (1.37), т. е. значения, необходимого для согласования с гигантами после поворота диаграммы. Это обстоятельство, вероятно, связано с особенностью положения белых карликов вблизи области вырожденного газа.

Помимо изотерм на диаграмму нанесено основное направление, по которому располагаются звезды. Теперь уравнение этого направления (1.28) может быть уточнено:



Фиг. 2. Изотермы звездной материи.
Оси координат — десятичные логарифмы плотности и давления. Пунктиром показаны изотермы идеального газа.

$$\lg \frac{\bar{B}}{\bar{\rho}} = +0{,}80. \qquad (1.38)$$

Простые показатели величин, входящих в уравнение (1.38), не могут быть случайными. Благодаря большому диапазону состояний это направление намечается весьма точно, и ошибка показателей не больше 5 %. Существенно отметить, что, несмотря на многие особенности, белые карлики этому направлению удовлетворяют так же, как и обычные звезды.

Теория внутреннего строения звезд, которая сможет объяснить наблюдательный материал, например соотношение (1.37), должна содержать в своих уравнениях физические координаты основной точки. Это обстоятельство в высшей степени интересно; оно показывает, что существует некоторая абсолютная система измерений, благодаря которой в теории могут комбинироваться физические величины, имеющие разные размерности. Эти комбинации и смогут привести к неожиданному, с теоретической точки зрения, источнику звездной энергии. Поэтому очень существенно определить абсолютные значения постоянных (1.36). Полагая, что звезды состоят из водорода ($\mu = 1/2$), можно воспользоваться ранее вычисленными физическими характеристиками центра Солнца (1.26). Тогда согласно (1.36) получим

$$\rho_0 = 2{,}4; \quad p_0 = 2{,}8 \cdot 10^{15}; \quad B_0 = 6{,}3 \cdot 10^{12}. \qquad (1.39)$$

Значение B_0^* можно вычислить по формуле (1.13). Вводя среднюю производительность энергии звезды ε, имеем

$$B_c^* = \frac{\varepsilon \varkappa_c p_c}{4\pi G c} \, \frac{M_{x_0}}{\lambda L_{x_0}}. \qquad (1.40)$$

Принимая $\varkappa_c$ равным томсоновскому коэффициенту поглощения, $\varepsilon_\odot = 1{,}9$, $M_{x_0} = 11$ и пользуясь значением структурного множителя (1.31), вычисляем для Солнца: $B^*_{c_\odot} = 1{,}1 \cdot 10^{12}$ вместо $B_{c_\odot} = 3{,}8 \cdot 10^{12}$, и, следовательно,

$$B_0^* = 4{,}1 \cdot 10^{12} \approx B_0. \qquad (1.41)$$

Введем вместо плотности число электронов n_e в кубическом сантиметре: $\rho = n_e \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-24}$. Тогда уравнению основного направления можно придать следующий вид:

$$\frac{3B}{n_e} = 1{,}4 \cdot 10^{-11} = 8{,}7 \text{эВ} \approx \chi_0, \qquad (1.42)$$

где $\chi_0 = 13{,}5$ эВ — потенциал ионизации водорода. Таким образом, для основного направления вычисленное по формуле идеального газа среднее количество лучистой энергии, приходящееся на одну частицу, постоянно и имеет порядок энергии ионизации атома водорода. Рассмотрение диаграммы (фиг. 2) показывает, что помимо основного направления существенна также ось $\rho = \rho_0$. Уравнение этой оси можно формулировать при помощи среднего расстояния между частицами

$$r = 0{,}55\,(n_e)^{-1/3}$$

следующим образом:

$$r = 0{,}51 \cdot 10^{-8} = r_{\mathrm{H}} = \frac{e^2}{2\chi_0}, \qquad (1.43)$$

где r_{H} — радиус атома водорода и e — заряд электрона. Получается простая связь постоянных основных осей (1.42) и (1.43), и в этой связи может заключаться определенный физический смысл.

В предыдущем параграфе было показано, что особенности зависимости «масса — яркость» не могут быть объяснены изменениями $\varkappa$. Поэтому линии $B^*/\varkappa = \mathrm{const}$ должны передавать особенности изотерм. Изотермы диаграммы на фиг. 2 очень похожи на изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Смысл этой аналогии заключается в том, что существует некоторая граница, вблизи которой получается искажение изотерм, т. е. происходит нарушение обычных законов термодинамики. Асимптотами этой граничной линии (в теории Ван-дер-Ваальса — границы разделения двух фаз) являются оси (1.42) и (1.43). Искажение изотерм усиливается с приближением к оси $\rho = \rho_0$ или $r = r_H$. В этой области располагаются звезды главной последовательности. Поразительное отличие от формулы Ван-дер-Ваальса заключается в том, что существуют две системы искажений (уравнение (1.37)), сглаживающихся по мере удаления от оси $\rho = \rho_0$ как со стороны малых, так и со стороны больших плотностей.

Только в условиях, близких к границам (1.42) и (1.43), могут длительное время существовать излучающие тела — звезды. Вероятно, это происходит потому, что только при нарушении обычных физических законов возможен механизм энергии, т. е. возможны процессы, при помощи которых вырабатывается энергия звезд.

Полученные результаты совершенно неожиданны с точки зрения теоретической физики. Они показывают, что нарушения законов классической механики и термодинамики наступают значительно раньше и при других обстоятельствах, чем это следует из теории относительности Эйнштейна. Из характера постоянных основного направления (1.42) и оси (1.43) видно, что источником звездной энергии является не комбинация массы и энергии, т. е. не принцип эквивалентности Эйнштейна, а возможность некоторого иного сочетания физических величин.

Здесь мы нарочно ограничиваемся изложением только тех выводов, которые непосредственно вытекают из обзора наблюдательных данных. Обобщению этих результатов и дальнейшим теоретическим следствиям будет посвящена третья часть настоящего исследования. В следующей же главе остановимся на некоторых деталях диаграммы Рессела — Гертцшпрунга, которые были опущены при ее общем описании.

ГЛАВА 2

ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ДИАГРАММЫ РЕССЕЛА — ГЕРТЦШПРУНГА

§ 1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ГИГАНТОВ

Диаграмма 1 показывает, что для звезд последовательности гигантов соотношение «масса — абсолютная яркость» имеет наиболее простой вид. Приблизительно

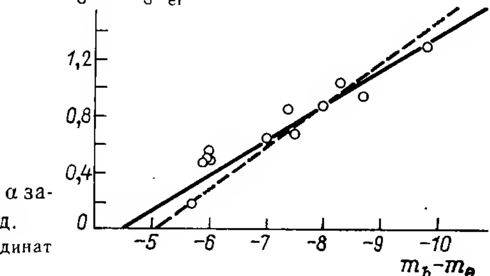
$$L \sim M^{\alpha};\ \ \alpha = 3{,}8. \tag{2.1}$$

Отмеченное крестиками на диаграмме приблизительное положение цефеид позволяет ожидать, что цефеиды также удовлетворяют соотношению (2.1). Из уравнений пульсации $P\sqrt{\rho} = c_1$ следует, что

$$\left(0{,}30 - \frac{1}{5\alpha}\right)(m_b - 4{,}62) + \lg P + 3\lg \overline{T}_{\mathrm{ef}} = \lg c_1, \tag{2.2}$$

где $\overline{T}_{\mathrm{ef}}$ — эффективная температура звезды, выраженная в долях эффективной температуры Солнца; m_b — болометрическая абсолютная величина и P — период, выраженный в днях. Нанося по оси абсцисс $m_b - 4{,}62$, а по оси ординат $\lg P + 3\lg \overline{T}_{\mathrm{ef}}$, мы должны получить прямую, положение которой позволит определить не только постоянную c_1 (см. гл. 3, ч. I, § 3), но и угловой коэффициент $0{,}30 - 1/(5\alpha)$. На фиг. 3 воспроизведен построенный таким образом график по материалам Беккера [15], специально определявшего $\overline{T}_{\mathrm{ef}}$ и m_b независимо от расстояний при помощи кривых лучевых скоростей. Прямая, которой лучше всего удовлетворяет расположение звезд, имеет угловой коэффициент, равный 0,25, и $c_1 = 0{,}075$. Отсюда следует, что $\alpha = 4$ — в прекрасном соответствии с ожидаемым результатом. Такое совпадение делает малоправдоподобным вывод проф. О. А. Мельникова [16] о том, что цефеиды имеют одинаковые массы ($\alpha = \infty$). На фиг. 3 пунктиром показана прямая, соответствующая этому случаю.

В гл. 1, § 5, мы видели, что соотношение «масса — яркость» гигантов объясняется предположением самых обычных структур — структурный множитель (1.31). Для устранения трудностей, возникающих при объяснении свечения гигантов ядерными реакциями, этим звездам приходилось приписывать особую структуру (большую оболочку, окружающую нормальную звезду). Поэтому полученная простая структура гигантов дает



Фиг. 3. Определение показателя α зависимости $L \sim M^{\alpha}$ у Цефеид. Ось абсцисс $m_b - m_{\odot}$, ось ординат $\lg P + 3\lg \overline{T}_{\mathrm{ef}}$.

еще одно доказательство несостоятельности ядерных источников энергии звезд. Вместе с тем благодаря этим простым структурам гиганты и сверхгиганты оказываются удивительными звездами. Для такого сверхгиганта, как спутник ε Aurigae, центральная плотность получается порядка 10^{-4} плотности воздуха при давлении около 1 ат. Поэтому очень возможно, что, двигаясь дальше по основному направлению, мы встретим туманности, удовлетворяющие условию типа (1.42), которые могут производить собственную энергию наподобие звезд.

Очень трудно объяснить реакциями большой выход энергии при физических условиях гигантов. Но совершенно непреодолимым затруднением являются получаемые при этом короткие сроки этой стадии жизни звезд. Для реакций верхний предел жизни звезды, соответствующий возможности полного превращения массы в энергию, получим, разделив c^2 на $\overline{\varepsilon}$. Таким образом, это время t можно найти по формуле (1.40):

$$t = \frac{t_0}{4\gamma_c}\left(\frac{M_{x_0}}{\lambda L_{x_0}}\right), \tag{2.3}$$

где

$$t_0 = \frac{\varkappa_T c}{\pi G} = 6 \cdot 10^{16} = 2 \cdot 10^{9}\ \text{лет} \tag{2.4}$$

и γ_c — отношение лучевого давления к газовому. Структурный множитель формулы (2.3), как мы знаем, имеет значение около четырех. Поэтому

$$t = \frac{t_0}{\gamma_c}. \tag{2.5}$$

Для гигантов $\gamma_c \approx 1$ и t получается порядка t_0. Даже этот максимальный срок едва ли можно считать удовлетворительным. При ядерных реакциях запас энергии, который может быть освобожден, составляет не более 0,008 принятого количества. Следовательно, продолжительность жизни гигантов сокращается до $1{,}6 \cdot 10^7$ лет. Этот срок неприемлем для Солнца (шкала Гельмгольца—Кельвина); естественно не удовлетворяться этим сроком и для других звезд. Скорее всего, мы имеем здесь веский аргумент в пользу того, что механизм звездной энергии не типа реакций.

Обращает на себя внимание, что простая постоянная (2.4) имеет значение постоянной времени соотношения Хаббла — красного смещения туманностей. Точное уравнение Хаббла, вероятно, должно быть следующего вида:

$$\nu = \nu_0 e^{-\frac{t}{t_0}}, \tag{2.6}$$

где ν — частота линии туманности на расстоянии t световых лет и ν_0 — ее нормальная частота. Общая теория относительности отметила соотношение между постоянной t_0 и средней плотностью наблюдаемой части вселенной $\bar{\rho}$:

$$t_0 \approx \frac{1}{\sqrt{\pi G \bar{\rho}}}, \tag{2.7}$$

которое независимо от теоретических основ является интересной эмпирической зависимостью. Теперь при помощи (2.4) и (2.7) уравнение (2.6) можно переписать следующим образом:

$$\nu = \nu_0 e^{-\varkappa_T \bar{\rho} x}, \tag{2.8}$$

где $x = ct$ — пройденный фотоном линейный путь. Характер выражения (2.8), напоминающего формулу поглощения, быть может, говорит в пользу объяснения красного смещения туманностей некоторыми необычными процессами, происходящими в пути с фотоном. Возможно, что при этом достаточно придавать $\bar{\rho}$ смысл средней плотности межгалактического газа.

§ 2. ГЛАВНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

С ростом наблюдательного материала диаграмма Рессела—Гертцшпрунга, т. е. плоскость «яркость — спектральный тип», все больше заполняется звездами. Это обстоятельство показывает, что существуют не кривые $L(\bar{T}_{ef})$ и $L(R)$, а только области различной заполненности звездами. В предыдущей главе было показано, что отсюда вытекает весьма существенное следствие относительно природы звездной энергии: выделение энергии регулируется только теплоотдачей и, значит, не является результатом обычных реакций. Собственно только главная последовательность звезд создает впечатление определенного направления, по которому располагаются звезды. Согласно П. П. Паренаго [17] это направление приблизительно следует прямой

$$m_b = m_\odot - 1{,}62x; \quad x = 10 \lg \bar{T}_{ef}. \tag{2.9}$$

Аналогичное соотношение, только в виде зависимости $M(R)$, было найдено Койпером [7]:

$$\lg \bar{R} = 0{,}7 \lg \bar{M}. \tag{2.10}$$

Пользуясь формулами (1.12), (1.14), выражение (2.10) можно преобразовать к зависимости $B(\rho)$. На диаграмме 1 видно, что как раз для звезд главной последовательности нет никакой зависимости $B(\rho)$ и звезды располагаются в некоторой, почти круговой области. Это несоответствие следует рассмотреть подробнее.

Главная последовательность в плоскости физических условий диаграммы 1 представляется, грубо говоря, кругом некоторого радиуса c, заполненным звездами. Следовательно, уравнение границы этой области звезд будет

$$\lg^2 \bar{B} + \lg^2 \bar{\rho} = c^2. \tag{2.11}$$

Преобразуем уравнение (2.11) к переменным $\bar{M}$ и $\bar{R}$. При помощи формул (1.12), (1.14) находим

$$17 \lg^2 \bar{M} - 38 \lg \bar{M} \lg \bar{R} + 25 \lg^2 \bar{R} = c^2. \tag{2.12}$$

Диаграмма 1 показывает, что для звезд главной последовательности показатель зависимости «масса — яркость» приблизительно равен четырем. Поэтому, пользуясь формулами

$$\lg \bar{M} = -0{,}1 m_b; \quad 5 \lg \bar{R} = -m_b - x,$$

выражение (2.2) можно преобразовать к виду

$$m_b^2 + 2 \cdot 1{,}51 m_b x + 2{,}44 x^2 = c_1^2. \tag{2.13}$$

Левая часть этой формулы является почти полным квадратом; следовательно, мы имеем уравнение весьма вытянутого эллипса, ось которого имеет угловой коэффициент, близкий к 1,51. Точное решение можно найти, преобразуя (2.13) к главным осям при помощи соответствующего векового уравнения. Получаются следующие элементы эллипса:

$$a/b = 8{,}9; \quad \alpha = -1{,}58, \tag{2.14}$$

где a и b соответственно — большая и малая оси и α — угол наклона большой оси эллипса к оси абсцисс. При столь

большой вытянутости эллипса должно получиться впечатление группировки звезд вдоль прямой — большой оси эллипса. Вычисленный угловой коэффициент этой последовательности (2.14) замечательно совпадает с эмпирически найденным значением (2.9). Таким образом, направление главной последовательности не имеет физического смысла и получается в результате вытягивания масштабов, которыми пользуются в наблюдательной астрофизике (естественность масштабов диаграммы 1 подчеркивается равномерным распределением изоэрг). С точки зрения внутреннего строения звезды концов спектральной последовательности O и M отличаются друг от друга в той же мере, как и звезды одного спектрального типа, но разной яркости. Поэтому и понятие: «эволюция звезды вдоль главной последовательности» оказывается не имеющим ясного смысла.

Изложенное показывает, что термин «последовательность» для групп звезд диаграммы Рессела — Гертцшпрунга является весьма неудачным. Полезно изменить терминологию и пользоваться выражением «область» вместо «последовательность». Например, область гигантов, главная область и т. п.

§ 3. БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

Наблюдательный материал, относящийся к белым карликам, очень скуден. Только для спутника Сириуса и o^2 Eridani имеются надежные определения всех трех величин L, M, R. Для спутника Сириуса получаются следующие данные:

$$\overline{M}=0{,}95;\quad \overline{R}=0{,}030;\quad \varepsilon=1{,}1\cdot 10^{-2}\ \text{эрг},$$

$$\rho=10^4;\quad \rho_c=3\cdot 10^5;\quad p_c=1\cdot 10^{22}. \tag{2.15}$$

В случае идеального газа отсюда следует: при $\mu={}^1/_2$ $T_c=2\cdot 10^8$ градусов. Эти данные показывают, что белые карлики производят в сотни раз меньше энергии, чем обычные звезды. Из хода изоэрг и «изотерм» диаграмм 1 и 2 видно, что нарушение зависимости «масса — яркость» имеет особый характер. Вероятно, состояние белых карликов принципиально отличается от состояния других звезд. Вместе с тем белые карлики удовлетворяют основному направлению, т. е. лежат на продолжении последовательности гигантов. Поэтому естественно начать рассмотрение внутреннего строения белых карликов, исходя из предположения, что это горячие звезды, находящиеся на границе вырождения:

$$\rho=AT^{3/2};\quad A=\mu_e\cdot 10^{-8}. \tag{2.16}$$

Покажем, что в этих звездах благодаря большим плотностям лучевой транспорт энергии F_R меньше транспорта энергии электронной теплопроводности F_T:

$$F_T=-\frac{1}{3}\overline{v_e\lambda}c_v n_e\frac{dT}{dr}, \tag{2.17}$$

где v_e — скорость электронов; λ — средняя длина свободного пробега электронов, имеющих скорость v_e, и c_v — теплоемкость одной частицы;

$$\lambda=\frac{1}{n_i\sigma};\quad n_i=\frac{n_e}{z};\quad \sigma=\pi r^2;\quad c_v=\frac{3}{2}k. \tag{2.18}$$

Здесь n_i — число отклоняющих частиц-ионов и σ — поперечное сечение иона, которое может быть определено условием отклонения на 90°, т. е. условием движения по равнобочной гиперболе:

$$m_e v_e^2=\frac{ze^2}{r}. \tag{2.19}$$

Подставляя выражения (2.19), (2.18) в формулу (2.17) и заменяя усредненную скорость по формуле

$$\overline{v^5}=\frac{12}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{2kT}{m_e}\right)^{5/2},$$

находим

$$F_T=-\frac{24}{ze^4}\left(\frac{2k^7T^5}{\pi^3 m_e}\right)^{\frac{1}{2}}\frac{dT}{dr}. \tag{2.20}$$

Поток радиации F_R можно представить в следующем виде:

$$F_R=-\frac{4}{3}\frac{caT^3}{\varkappa\rho}\frac{dT}{dr}. \tag{2.21}$$

Следовательно,

$$\frac{F_R}{F_T}=\frac{zT^{\frac{1}{2}}}{\varkappa\rho}\left(\frac{ace^4\pi^{3/2}m_e^{\frac{1}{2}}}{k^{7/2}18\sqrt{2}}\right)=\frac{2{,}6zT^{\frac{1}{2}}}{\varkappa\rho}. \tag{2.22}$$

Пользуясь данными (2.15), легко видеть, что даже при $\varkappa\approx 1$ во внутренних областях белых карликов $F_R<F_T$. Можно сохранить ранее полученные формулы лучевого равновесия и для случая теплопроводности, если заменить в этих формулах $\varkappa$ эффективным коэффициентом поглощения $\varkappa^*$:

$$\varkappa^*=\frac{2{,}6zT^{\frac{1}{2}}}{\rho}. \tag{2.23}$$

Таким образом, если белые карлики состоят из идеального газа на границе вырождения, то их яркость должна быть еще больше, чем вычисленная по формуле «масса — яркость»

лучевого равновесия. Рассмотрим теперь обычную трактовку белых карликов, т. е. будем считать их звездами, состоящими из полностью вырожденного газа.

В случае полного вырождения по формуле Чандрасекара «масса — радиус» (2.32), ч. I, при $\bar{M}=1$ получаются следующие значения радиусов:

$$\bar{R}=0{,}042\quad(\mu_e=1);\quad \bar{R}=0{,}013\quad(\mu_e=2).$$

Наблюдаемый радиус (2.15) не может быть уменьшен вдвое; остается считать, что спутник Сириуса по крайней мере на 50 % состоит из водорода. Отсюда возникает очень большая трудность, связанная с тем, что при плотности белых карликов протон-протонная реакция уже при температурах в несколько миллионов градусов будет давать недопустимо большой выход энергии. Покажем, что такие температуры обязательно достигаются внутри белых карликов.

Применяя основные уравнения равновесия (1.1) к наружным слоям звезды, находим

$$\frac{B}{p}=\frac{L\varkappa}{4\pi GcM}=\frac{\varepsilon\varkappa}{4\pi Gc}, \tag{2.24}$$

где $\varkappa$ — некоторое среднее значение коэффициента поглощения наружных слоев. Для границы вырождения преобразуем левую часть этого равенства при помощи условия (2.16):

$$\rho_0=\frac{3\varepsilon\varkappa}{4\pi Gc}\,\frac{A^2\mathfrak{R}}{\mu a}.$$

Таким образом,

$$\rho_0=125\varepsilon\varkappa\left(\frac{\mu_e^2}{\mu}\right),$$
$$T_0^{3/2}=1{,}25\cdot 10^{10}\varepsilon\varkappa\left(\frac{\mu_e}{\mu}\right). \tag{2.25}$$

Как видно из формулы (2.22), уже в наружных слоях F_T может стать больше F_R. Подставляя поэтому в формулу (2.25) значение $\varkappa^*$ (2.23), находим

$$\bar{T}_0=2{,}5\cdot 10^7\varepsilon^{2/5}\left(\frac{z}{\mu}\right)^{2/5}. \tag{2.26}$$

Из этого выражения при $\varepsilon=10^{-2}$, $\mu=1$, $z=1$ получается

$$T_0=4\cdot 10^6;\quad \rho_0=80\quad\text{и}\quad \overset{*}{\varkappa}_0=65.$$

Вероятно, при этих условиях $\varkappa>\varkappa^*$, что оправдывает расчет, выполненный при помощи $\varkappa^*$. В наружных слоях звезд температура, как известно, связана с глубиной h следующим образом:

$$T=\frac{g\mu}{4\mathfrak{R}}h. \tag{2.27}$$

На поверхности спутников Сириуса $g=3\cdot 10^7$. Следовательно, $h_0=4\cdot 10^7$. Таким образом, толщина наружного газового слоя составляет около двух процентов радиуса. Поэтому радиус вырожденного ядра с большой точностью должен равняться наблюдаемому радиусу звезды.

В вырожденном ядре должна быть приблизительная изотермия, так как эффективный коэффициент поглощения быстро уменьшается с увеличением плотности. Для вырожденного газа легко получается видоизменение формулы (2.23), если учесть, что теплоемкость вырожденного газа пропорциональна температуре. Тогда в выражении для потока F_T (2.20) останется температура в первой степени, а $T^{3/2}$ должно быть заменено плотностью по формуле (2.16).

В результате имеем $F_T\sim\rho T$ и

$$\overset{*}{\varkappa}_1\cong 2{,}6\cdot 10^{-8}\left(\frac{T}{\rho}\right)^2 z\mu_e. \tag{2.28}$$

Но даже в случае, когда во всей звезде сохраняется температура около $4\cdot 10^6$ град, средний выход энергии по формуле протон-протонной реакции (1.16) получается значительно больше наблюдаемого: $\varepsilon=10^2$ эрг/с. Поэтому допустимое содержание водорода оказывается очень незначительным, и остается совершенно необъяснимым наблюдаемое большое значение радиуса спутника Сириуса.

Итак, следует возвратиться к исходной точке зрения и считать белые карлики горячими звездами на границе вырождения, но состоящими из тяжелых элементов. Малые яркости белых карликов, вероятно, связаны с тем, что в этих звездах происходят явления эндотермического типа, т. е. помимо источников имеются стоки энергии или отрицательные значения ε. Рассмотренная проблема еще раз показывает, что свечение звезд едва ли объяснимо в рамках законов обычной термодинамики.

Указатель литературы

1*. Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43.
2. Eddington A. S. The internal constitution of the stars. Cambridge, 1926. P. 163.
3. Lohmann W. Die innere Struktur der Masse-Leuchtkraftfunktion und die chemische Zusammensetzung der Sterne der Hauptreihe//Zeitschrift für Astrophysik. 1948. Bd 25. H. 1/2. S. 104.
4. Мартынов Д. Я. Затменные переменные звезды. М.; Л., 1939. 151 с. (Переменные звезды/М. С. Зверев и др.; Т. 2).

5. Gaposchkin S. Die Bedeckungsveränderlichen//Veröffentlichungen der Universitätssternwarte zu Berlin-Babelsberg. 1932. Bd 9. H. 5. S. 1—141.
6. Паренаго П. П. Физические характеристики субкарликов//Астрон. журн. 1946. Т. 23. Вып. 1. С. 31—39.
7. Kuiper G. P. The Empirical Mass-Luminosity Relation//The Astrophys. Journ. 1938. Vol. 88. N 4. P. 472—507.
8. Struve O. The masses and mass-ratios of close binary systems//Annales d'Astrophys. 1948. T. 11. N 2. P. 117—123.
9. Kothari D. S. The theory of pressure-ionization and its applications//Proceedings of the Royal Society of London. Ser. A. 1938. Vol. 165. N A923. P. 486—500.
10. Luyten W. J., Struve O., Morgan W. W. Reobservation of the orbits of ten spectroscopic binaries with a discussion of apsidal motions//Publications of the Yerkes Observatory [of The University of Chicago]. 1939. Vol. 7. Part 4. P. 251—300.
11. Strömgren B. 1) The opacity of stellar matter and the hydrogen content of the stars//Zeitschrift für Astrophysik. 1932. Bd 4. H. 2. S. 118—152; 2) On the Interpretation of the Hertzsprung-Russell-Diagram//Zeitschrift für Astrophysik. 1933. Bd 7. H. 3. S. 222—248.
12. Kuiper G. P. On the Hydrogen Content of Clusters//The Astrophys. Journ. 1937. Vol. 86. N 2. P. 176—197.
13. Масевич А. Г. Звездная эволюция, сопровождаемая корпускулярным излучением, с точки зрения теории внутреннего строения звезд//Астрон. журн. 1949. Т. 26. Вып. 4. С. 207—218.
14. Tuominen J. Über den inneren Aufbau der TRÜMPLERschen Sterne//Zeitschrift für Astrophysik. 1943. Bd 22. H. 2. S. 90—110.
15. Becker W. 1) Spektralphotometrische Untersuchungen an δ Cephei-Sternen. X//Zeitschrift für Astrophysik. 1940. Bd 19. H. 4/5. S. 297; 2) Spektralphotometrische Untersuchungen an δ Cephei-Sternen. XI//Zeitschrift für Astrophysik. 1941. Bd 20. H. 3. S. 229.
16. Мельников О. А. О постоянстве масс долгопериодических цефеид//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1948. Т. 17. Вып. 2. № 137. С. 47—62.
17. Паренаго П. П. Обобщенная зависимость масса-светимость//Астрон. журн. 1939. Т. 16. Вып. 6. С. 13.

ВОЗМОЖНАЯ АСИММЕТРИЯ В ФИГУРАХ ПЛАНЕТ

1. Данные астрономических наблюдений ставят в настоящее время перед теорией задачи, которые или совсем не решаются, или решаются с помощью сложных гипотез. Вновь открываемые явления часто оказываются неожиданными для теории. Основой теоретических методов исследования являются принципы механики Ньютона, поэтому можно усомниться в безусловной справедливости этих принципов, т. е. в строгости применения их в астрономических масштабах пространства и времени. По-видимому, уклонения от законов Ньютона наступают значительно раньше, иным образом и совсем при других обстоятельствах, чем поправки теории относительности Эйнштейна. Поэтому изменение принципов механики должно быть значительно более глубоким и заключаться в изменении всех трех основных аксиом Ньютона—Галилея. Для обоснования этой точки зрения весьма существенно найти простое явление, резким и прямым образом противоречащее механике Ньютона.

Ряд признаков указывает на то, что проблема вращения небесных тел не исчерпывается обычными законами механики. К числу их можно отнести открытую в тесных двойных системах несинхронность орбитального и осевого вращения звезд, существующую вопреки приливному трению. По-видимому, звезды могут вырабатывать не только энергию, но и момент вращения. Однако чтобы вращение могло поддерживаться процессами, идущими внутри тела, должна возникнуть некоторая асимметрия, зависящая от направления вращения. Весьма возможно, что при этом и фигура вращающегося тела будет асимметричной по отношению к экваториальной плоскости. Для исследования этого эффекта наиболее благоприятными будут тела с большим сжатием и большого углового диаметра, т. е. Юпитер и Сатурн. Если у этих тел будет обнаружена асимметрия, то это и будет искомым явлением, противоречащим механике Ньютона.

Обозначим через p полярное расстояние, т. е. угловое расстояние точки на поверхности тела от положительного направления оси вращения. Пользуясь правой системой координат, мы должны полярное расстояние отсчитывать от северного полюса планеты. Асимметрия тела скажется появлением в уравнении эллипсоида дополнительного нечетного члена:

$$r = a(1 - \varepsilon \cos^2 p - \eta \cos^3 p); \qquad (1)$$

Козырев Н. А. Возможная асимметрия в фигурах планет//Доклады АН СССР. 1950. Т. 70. № 3. С. 389—392.

здесь r — радиус-вектор точки на поверхности тела, проведенный из точки пересечения оси вращения с экваториальной плоскостью, т. е. плоскостью наибольшего сечения тела, a — радиус экваториального сечения, ε — сжатие и η — коэффициент асимметрии. Допустим, что такое асимметричное тело наблюдается в положении, когда ось вращения перпендикулярна лучу зрения. Обозначим через x линейные расстояния хорд от оси вращения и через y — расстояние середины хорд от экватора, выраженные в долях экваториального радиуса. Тогда из уравнения (1) следует приближенное равенство

$$y = -\eta(1 - x^2). \quad (2)$$

Таким образом, при положительном η середины хорд с приближением к центру диска должны уходить в южное полушарие. Самое быстрое изменение положения середины хорд будет происходить на краю диска. Практически получается весьма удобный способ измерений асимметрии, при котором нет нужды строго ориентировать ось x по экватору планеты. Необходимо лишь получить среднее из отсчетов на концах хорд восточного и западного края диска, взять из них среднее и сравнить со средним из отсчетов положения концов хорд в центральной части диска.

С достаточной точностью можно считать, что ось Юпитера всегда перпендикулярна лучу зрения. Производя измерение линейкой опубликованных в различных изданиях репродукций увеличенных фотографий Юпитера, я получил впечатление, что искомая асимметрия существует реально и что южное полушарие Юпитера более вытянуто, чем северное: $\eta = +0{,}0030 \cong \varepsilon^2$. Измеренные для контроля репродукции Марса приблизительно того же размера этого эффекта не показали. После таких результатов уже имело смысл перейти к подробному изучению оригинальных снимков.

2. Проф. В. В. Шаронов любезно предоставил мне снимки Сатурна, полученные им 7 октября 1937 г. в фокусе 30-дюймового рефрактора Пулковской обсерватории (через узкий желтый фильтр) и снимки Юпитера 17—18 июля 1939 г., полученные на нормальном астрографе Ташкентской обсерватории с увеличительной системой в 3,2 раза. Упомянутые снимки Сатурна получены в момент почти полного исчезновения кольца, т. е. наивыгоднейшего для измерений положения Сатурна, когда ось вращения перпендикулярна лучу зрения. На снимках кольцо получилось в виде тонкой черты, которая не могла мешать измерениям. Измерение пластинок было выполнено на измерительном приборе Репсольда сектора астрофотографии Пулковской обсерватории. Ось x ориентировалась параллельно линии кольца. Положение концов хорд, перпендикулярных этой линии, измерялось для трех хорд на одном краю, трех хорд в средней части диска и трех хорд на другом краю. Одиночная нить микрометра фиксировала положение измеряемой хорды, а наведение на край в точке пересечения диска планеты с этой нитью осуществлялось двойною нитью. После этого пластинка поворачивалась на 180°, и измерение полностью повторялось. Как некоторый оптимум для положения средней из трех хорд на краю было взято $x = 0{,}85$. Видимый экваториальный диаметр Сатурна равнялся 20″. На пластинках в оборотах микрометра Репсольда этот диаметр составлял приблизительно 2,8, т. е. 1,4 мм (2 оборота микрометра — 1 мм). Результат измерений 12 изображений Сатурна на трех пластинках в тысячных долях оборота, т. е. в полумикронах, оказался следующим: $y(0{,}85) - y(0) = +7$ со средней ошибкой ± 3. Произведя с помощью формулы (2) редукцию на полный эффект, получаем $\eta = +0{,}007$, т. е. опять положительная величина, близкая к ε^2.

Снимки Юпитера оказались менее удачными: края изображений размыты с общей вуалью на пластинке. Поэтому были измерены только девять изображений на двух пластинках. Критерием отбора изображений служили контрольные измерения сжатия диска. В тысячных долях оборота микрометра результат оказался следующим: $y(0{,}85) - y(0) = +6 \pm 4$. Поскольку экваториальный радиус составлял 2,3 оборота, производя редукцию к краям, находим $\eta = +0{,}004$ — результат, близкий к тому, который был получен при осмотре репродукций.

3. Ознакомление с коллекцией снимков Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга показало, что среди этих снимков имеются превосходные фотографии Юпитера, полученные П. К. Штернбергом 28 апреля 1910 г. на 15-дюймовом астрографе Московской обсерватории с помощью камеры, увеличивавшей в 2,7 раза. На этих снимках края изображений очень определенны и видно много деталей, даже таких тонких, как область Красного пятна. Кроме того, линейный масштаб этих снимков превышал масштаб ранее измеренных: экваториальный диаметр получился равным 6,5 оборотов.* Были измерены 10 лучших изображений на четырех пластинках, и средний результат получился следующим: $y(0{,}90) - y(0) = +9 \pm 2$. При этом с улучшением качества изображений эффект увеличивался, и средний весовой результат был принят равным +12. Производя редукцию к краям, получаем $\eta = +0{,}0044$, что практически совпадает с $\varepsilon^2 = 0{,}0042$. Для проверки надежности измерений шесть лучших снимков были измерены в положении, отличающемся на 90°. Асимметрия получилась и в этом случае: $\Delta y = +6 \pm 4$; $\eta = +0{,}0019$ (знак плюс указывает, что западное полушарие более выпукло, чем восточ-

* Проф. М. С. Зверев любезно разрешил мне воспользоваться этими снимками для измерений.

ное). Астрономический ежегодник 1910 г. дает на 28 апреля у Юпитера фазу как раз с востока, половина которой равна $+0{,}0023$, что находится в прекрасном соответствии с измеренным значением.

При столь тонких измерениях может играть роль личный эффект. Поэтому пользуюсь случаем выразить глубокую благодарность Д. О. Мохначу за выполненные им с большим искусством контрольные измерения 12 изображений Юпитера на тех же пластинках П. К. Штернберга. Средний результат Д. О. Мохнача получился следующий: $y(0{,}90) - y(0) = +10 \pm 1$.

Характерно, что с увеличением масштаба и улучшением качества изображений эффект асимметрии делается более заметным. Опасные систематические ошибки могут возникнуть только при самих измерениях из-за деталей на поверхности планет. Измерения хорд на краях диска могут исказиться наличием полос, не симметричных по отношению к экватору. Однако это соображение отпадает, так как темная полоса на диске Сатурна (тень кольца) находилась в северном полушарии, а темная экваториальная полоса Юпитера на снимках В. В. Шаронова выделялась в южном полушарии; вместе с тем асимметрия у этих планет получилась одного знака. При измерениях хорд средней части диска могут возникнуть систематические уклонения, если темные полярные области планет в обоих полушариях выражены различно. Однако известно, что у Юпитера и Сатурна более темным является южный полюс, а это обстоятельство может только ослабить, но не усилить найденный эффект.

4. Найденная асимметрия планет, вероятно, является универсальным следствием закона сложения гравитационного поля с полем вращения. Тогда и у Земли южное полушарие будет более выпуклым (приблизительно на 100 м) и в южном полушарии ускорение тяжести должно быть на десятки мГал меньше, чем в северном. Сравнение гравиметрических данных обоих полушарий затрудняется малым числом гравиметрических пунктов в южном полушарии, а главное, почти полным отсутствием их в высоких южных широтах. Однако еще в 1899 г. проф. А. А. Иванов пытался определить широтный коэффициент асимметрии в распределении тяжести. Это исследование повторялось (А. Беррот, С. В. Торопин, И. Д. Жонголович) и приводило, в общем, к согласному результату. По-видимому, можно принять: $\Delta g = g_N - g_S = 25$ мГал и $\Delta g/g = (+2{,}5 \pm 1{,}0) \cdot 10^{-5}$. Центр тяжести однородного тела, поверхность которого определяется уравнением (1), при $\eta > 0$ сдвинут к югу на величину, равную $(^3/_4)a\eta$, вследствие чего возникает $\Delta g/g = \eta$. С другой стороны, можно ожидать, что причина, приводящая к большему сжатию северного полушария, будет действовать и на маятник. Поэтому только часть ($^1/_3$ или $^1/_2$) измеренного $\Delta g/g$ должна быть приравнена η. Отсюда следует, что $\eta \cong +1 \cdot 10^{-5}$.

Данные таблицы показывают, что в первом приближении фигура равновесия вращающейся однородной гравитирующей массы представляется формулой

$$r = a\,(1 - \varepsilon\cos^2 p - \varepsilon^2\cos^3 p). \qquad (3)$$

В пользу существования особых причин, приводящих к асимметрии фигур планет, говорит наблюдаемая асимметрия в рас-

Планета	ε	ε^2	η
Сатурн	1 : 9,7	$10{,}6 \cdot 10^{-3}$	$+7 \cdot 10^{-3} \pm 3 \cdot 10^{-3}$
Юпитер	1 : 15,4	$4{,}2 \cdot 10^{-3}$	$+4{,}4 \cdot 10^{-3} \pm 0{,}6 \cdot 10^{-3}$
Земля	1 : 297	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	$+1 \cdot 10^{-5} \pm 0{,}5 \cdot 10^{-5}$

положении деталей на поверхности планет; например, предпочтительное расположение материков в северном полушарии Земли и их вытянутость к югу.

Мы видели, что установление асимметрии дисков Юпитера и Сатурна имеет глубокое принципиальное значение. Вместе с тем этот эффект получился почти на пределе точности измерений. Поэтому совершенно необходима проверка полученных результатов с помощью крупнейших астрономических инструментов.

О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ

Малые плотности больших планет типа Юпитера наводят на мысль, что в отличие от планет земной группы в их строении существенную роль играет водород. Для решения этого вопроса в первую очередь необходимо знать физические условия внутри планеты. Так как в центре производные физических величин обращаются в нуль, то центральные данные: давление p_c и плотность ρ_c — являются характерными для значительной части планеты. Эти величины могут быть рассчитаны с помощью известных из наблюдений массы M и радиуса R планеты. Действительно, с точностью до безразмерного множителя, зависящего от структуры планеты, давление в центре равняется силе тяжести, умноженной на массу столба с основанием в 1 см². Точно так же центральная плотность отличается от средней на некоторый другой структурный множитель. Эти структурные множители сравнительно мало меняются для допустимых вариантов строения планеты. Например, предполагая, что структура планеты может быть аппроксимирована политропой класса n, т. е. принимая внутри планеты

$$p \sim \rho^{\Gamma} \ \left(n = \frac{1}{\Gamma - 1}\right),$$

можно получить для Юпитера следующие данные:

n	p_c	ρ_c	k	
1	$4 \cdot 10^7$ атм	4,6	0,65	(1)
3/2	$7{,}3 \cdot 10^7$ атм	7,9	0,52	

Здесь k — отношение момента инерции планеты к моменту инерции однородного тела той же массы и того же радиуса. В этом расчете принято: $M_{\odot}/M = 1047$, $R_{\odot}/R = 10{,}0$ и $\bar{\rho} = 1{,}34$.

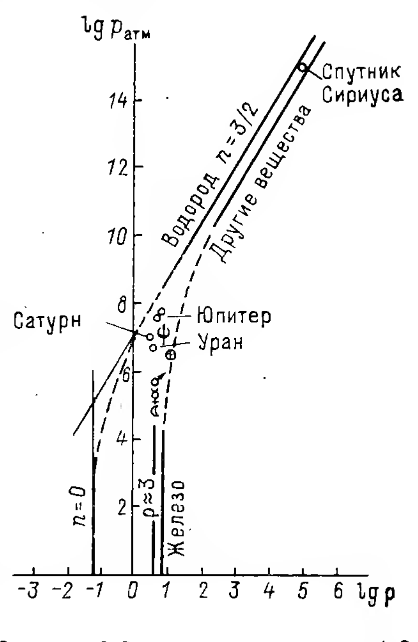
Определенная для Юпитера величина $k = 0{,}60$ (по движению спутников и сжатию диска) показывает, что физические условия в центре Юпитера должны заключаться между приведенными выше значениями. Эти значения нанесены в виде двух точек в плоскости прилагаемого графика (см. рисунок). Для выяснения химического состава Юпитера остается найти, для какого вещества кривая фазового состояния, т. е. кривая зависимости $p(\rho)$, пройдет через эти точки. Для построения этих кривых допустим, что Юпитер холодный. Слово «холодный» будем употреблять в том смысле, что $kT \ll p/n$, где n — число частиц в единице объема. При интересующих нас давлениях около

Козырев Н. А. О внутреннем строении больших планет//Доклады АН СССР. 1951. Т. 79. № 2. С. 217—220.

10^7 атм поведение холодных веществ мало изучено. Однако для наших целей достаточно следующих соображений. При $p > 10^{10}$ атм, т. е. когда $p/n > 10^{-8} \approx 10^4$ эВ, атомы будут полностью раздавлены давлением и вещество должно иметь свойства газа Ферми ($n = 3/2$):

$$p = 9{,}89 \mu_e^{-5/3} \rho^{5/3} \cdot 10^6, \qquad (2)$$

где μ_e — средний молекулярный вес, рассчитанный на один электрон. Для водорода $\mu_e = 1$, для прочих веществ, включая гелий, $\mu_e = 2$. С другой стороны, для малых давлений ($p < 10^4$) плотность веществ практически постоянна ($n = 0$). На рисунке жирные линии показывают изменение состояния водорода и тяжелых веществ типа железа для упомянутых интервалов давлений. Плотность атомного водорода в нормальных условиях принята равной 0,07. Продолжая линию постоянной плотности и линию газа Ферми, можно видеть, что для промежуточных давлений без всякой теории надежно вписывается кривая изменения состояния, показанная на графике пунктиром. Наклон этой линии показывает, что в значительной массе Юпитера $1 < n < 3/2$. Среднее из положений двух точек (1)



$$p_c = 5{,}2 \cdot 10^7; \quad \rho_c = 6{,}2 \qquad (3)$$

должно наилучшим образом описывать условия в центре Юпитера. Из графика сразу видно, что Юпитер не может быть чисто водородным. Оценить однозначно процентное содержание водорода по этому графику вряд ли возможно. Можно различными моделями, например чисто гелиевым составом, удовлетворить положению точки внутренних условий Юпитера. Однако ввиду того что по формуле (2) средний молекулярный вес определяется как среднее гармоническое из $\mu_e^{5/3}$, заметное отклонение от кривой водорода может получиться только при значительном количестве других веществ. Считая вероятным, что среднее положение, которое занимает вещество Юпитера, между кривой водорода и кривой тяжелых веществ будет сохраняться и для давлений, приводящих к уравнению Ферми, получим следующую оценку содержания водорода: $x \approx 25 \div 40$ %.

На рисунке помимо Юпитера нанесены точки центральных состояний других планет. Эти точки обозначены соответствующими планетными символами. Показано также положение типичного белого карлика — спутника Сириуса. По-видимому, Юпитер, Сатурн и Уран имеют приблизительно одинаковый состав. Планеты другой группы: Луна, Меркурий, Марс — состоят из веществ, плотность которых при нормальных условиях близка к 3. Внутренние условия Земли вычислены в предположении структуры $n=1/2$, которая отвечает наблюдаемому относительному моменту инерции $k=0{,}85$. Несмотря на возможность скачков в кривой состояния тяжелых веществ, кажется вероятным, что Земля отличается по своему составу от других планет земной группы и имеет железное ядро.

Исследуем теперь другую возможность строения Юпитера, т. е. будем считать его горячим. Полагая, что температура играет роль в образовании внутреннего давления, из значений (3) по закону идеальных газов находим

$$T_c = 1{,}1 \cdot 10^5 \mu \text{ град.} \tag{4}$$

Если газ не идеальный, то температура может быть вычислена по этой же формуле, только с другим молекулярным весом. Неоднократно повторяющиеся радиометрические измерения теплового потока Юпитера приводят к температуре поверхности Юпитера, равной —120°, —130 °C (≈ 145 K) вместо —150 °C (120 K), которая соответствует среднему поглощенному потоку, идущему от Солнца: $1{,}2 \cdot 10^4$ эрг/(см$^2 \cdot$ с).

Наблюдаемый поток тепла в $(145/120)^4 \approx 2$ раза больше рассчитанного. Таким образом, собственное излучение Юпитера должно быть порядка $1 \cdot 10^4$ эрг/(см$^2 \cdot$ с). Выясним теперь, при каких условиях температура (4) в центре Юпитера будет давать наблюдаемый тепловой поток F. В теории внутреннего строения звезд расчет потока в зависимости от внутренней температуры приводит к знаменитому соотношению «масса — светимость (L)» [1]:

$$K = 4\rho R^2 F \sim \frac{\mu^4}{\varkappa} M^3, \tag{5}$$

причем для звезд $\mu^4/\varkappa = 0{,}1$.

Применяя эту формулу к Юпитеру и Солнцу, находим

$$\frac{F}{F_\odot} = \left(\frac{R_\odot}{R}\right)^2 \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^3 \cdot 10 \cdot \frac{\mu^4}{\varkappa} = 10^{-6}\, \frac{\mu^4}{\varkappa}.$$

Так как $F_\odot = 6 \cdot 10^{10}$, то $F/F_\odot = 2 \cdot 10^{-7}$ и, следовательно:

$$\mu^4/\varkappa = 0{,}2. \tag{6}$$

Получается почти тот же коэффициент, как и у звезд, и можно сказать, что Юпитер удовлетворяет соотношению «масса — яркость» $L \sim M^3$. Значение коэффициента (6) представляет важную характеристику строения Юпитера. При больших плотностях и температурах порядка 10^5 град. передача тепла скорее всего осуществляется теплопроводностью. Сравнивая уравнение теплопроводности с уравнением лучеиспускания, можно вычислить эффективный коэффициент поглощения, который должен входить в формулу масса — светимость [2]:

$$\varkappa^* = \frac{2{,}6 Z T^{1/2}}{\rho},$$

где Z — порядковый номер элемента. Эта формула справедлива для ионизованного и несильно вырожденного газа. Для Юпитера получаем $\varkappa^* \approx 100$. Таким образом, согласно (6) $\mu = 2{,}2$, и, следовательно, в центре Юпитера $T_c = 2{,}5 \cdot 10^5$ град.

Посмотрим теперь, в какой степени состояние газа в Юпитере отличается от идеального. Для этого сравним $kT = 3{,}4 \times 10^{-11}$ с электростатической энергией, рассчитанной на одну частицу. Согласно теории Дебая — Хюккеля эта энергия имеет значение [3]

$$u = -\frac{1}{3}\left(\frac{\pi Z^3 (Z+1)^3 e^6 n^{+3}}{kTn^2}\right)^{1/2},$$

где n^+ — число ионов в см^3. Полагая $n = 2n^+$, $Z = 1$ и $n = 4 \times 10^{24}$, находим

$$u = -\frac{1}{3}\left(\frac{\pi e^6 n}{kT}\right)^{1/2} = 2 \cdot 10^{-11}.$$

Таким образом, частицы существенно связаны, и для водорода вместо $\mu = 1/2$, видимо, следует брать $\mu \approx 1$. Найденный выше средний молекулярный вес 2,2, вероятно, указывает на значительное присутствие других элементов в количестве, не меньшем 50 %.

Замечательная согласованность теоретических результатов с радиометрическими измерениями убеждает в том, что Юпитер действительно горячий и состоит из газа, находящегося на границе нарушения закона Бойля—Мариотта. Другие большие планеты, вероятно, имеют такое же строение. Температура этих планет не может поддерживаться ядерными превращениями. Таким образом, высокая температура внутри больших планет подтверждает полученный нами из анализа внутреннего строения звезд вывод о том, что свечение небесных тел имеет совершенно особую природу и не связано с ядерными реакциями [2]. Вероятно, и внутренняя энергия Земли не исчерпывается радиоактивностью пород или механизмом гравитационной

дифференциации О. Ю. Шмидта, а в основном имеет ту же «звездную природу».

Указатель литературы

1*. Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43.
2*. Козырев Н. А. Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.
3. Eddington A. S. The internal constitution of the stars. Cambridge, 1926. P. 265.

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ КОМПОНЕНТ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Проведена дискуссия наблюдательного материала по основным характеристикам — светимость, масса, радиус — компонент визуальных и затменных двойных звезд. Показано, что в звездных парах менее массивное тело — спутник — является звездой с аномальной светимостью. Спектральный тип спутника, светимость, а следовательно, и радиус приближаются к соответствующим характеристикам главной звезды. Это обстоятельство нельзя объяснить ни эволюционным развитием пары, ни особенностями начальных условий объединения. Сходство звезд получается благодаря влиянию главной звезды на спутник за время их совместного существования. Таким образом, двойные звезды являются астрономическим примером возможности воздействий одной системы на другую не через силовые поля, а происходящими в них необратимыми процессами через изменение свойств времени.

Произведенные Леонардом [1] (Ликская обсерватория) исследования спектров визуально-двойных звезд и разносторонние статистические исследования Г. А. Шайна [2] (Пулково) привели этих авторов к заключению, что звезды, составляющие двойную систему, не имеют резких различий с обычными, одиночными звездами. Этот вывод о тождественности двойных и одиночных звезд прочно входил в астрономическую литературу. Однако в последнее время возникли некоторые сомнения в его правильности. Сейчас мы располагаем значительно большим числом более точных характеристик двойных звезд. С другой стороны, стала более ясной физическая интерпретация этих характеристик. Поэтому этот весьма интересный и глубокий вопрос следует пересмотреть заново.

Будем рассматривать следующие основные характеристики звезд: светимость L, радиус R и массу M. С помощью этих характеристик могут быть рассчитаны физические условия внутри звезд. Например, производительность энергии единицей массы звездной материи ε и плотность ρ в центре звезд должны быть пропорциональными:

$$\varepsilon \sim L/M, \quad \rho \sim M/R^3. \qquad (1)$$

Для обычных звезд, состоящих из идеального, невырожденного газа, температура или плотность лучистой энергии B определяются выражениями

$$T \sim \mu M/R, \quad B \sim \mu^4 M^4/R^4, \qquad (2)$$

где μ — средний молекулярный вес газа.

В этих формулах безразмерные коэффициенты пропорциональности зависят от структуры звезды. При одинаковых структурах и одинаковом химическом составе с Солнцем физические

Козырев Н. А. Особенности физического строения компонент двойных звезд//Изв. Гл. астрон. обсер. в Пулкове. 1968. № 184. С. 108—115.

условия в звездах по отношению к Солнцу будут определяться следующими простыми выражениями:

$$\bar{\varepsilon} = \bar{L}/\bar{M}, \ \bar{\rho} = \bar{M}/\bar{R}^3, \ \bar{T} = \bar{M}/\bar{R}, \ \bar{B} = \bar{M}^4/\bar{R}^4. \qquad (3)$$

Здесь чертой сверху обозначены характеристики звезд, взятые по отношению к соответствующим характеристикам Солнца. Реальные звезды безусловно не образуют гомологического ряда. Но даже для многих разнообразных моделей интересующие нас структурные коэффициенты не должны сильно различаться, как это было подробно показано в первой части нашего исследования по внутреннему строению звезд [3]. Вообще говоря, только в исключительных случаях безразмерный коэффициент в физической формуле может принципиально изменить результат. Обычно же результат можно оценивать правильно без точного решения уравнений задачи, т. е. без учета влияний безразмерных коэффициентов. Лишь настойчивое желание найти в физическом строении звезд подтверждение гипотезы термоядерных источников звездной энергии могло заставить теоретиков изыскивать исключительные структуры звезд с исключительными структурными коэффициентами. С точки зрения же объективной позиции следует полагать, что формулы (3), точные для гомологических конфигураций, должны давать приблизительно правильные результаты и для реальных звезд.

Во второй части упомянутой работы по внутреннему строению звезд [4] воспроизведена диаграмма, рассчитанная по формулам (3), показывающая распределение звезд в плоскости ($\lg \bar{\rho}$, $\lg \bar{B}$). На этой диаграмме выделяется некоторое основное направление, около которого группируются звезды в громадном диапазоне состояний: последовательность гигантов, средняя часть главной последовательности и субкарлики типа A. Это направление удивительно точно идет под углом 45° и, следовательно, отвечает условию $\bar{B} \sim \bar{\rho}$. На основном направлении существует точка (звезды F4 главной последовательности), вокруг которой звезды разбросаны на бóльшие расстояния, чем обычно, и здесь их особенно много. Таким образом, в плоскости ($\lg \bar{\rho}$, $\lg \bar{B}$) главная последовательность представляется кругом, что говорит просто о возможности большой дисперсии около некоторой точки на основном направлении. При переходе от нашей плоскости к обычной плоскости диаграммы Рессела — Герцшпрунга круг деформируется в сильно вытянутый эллипс. Получается впечатление группировки звезд вдоль прямой — большой оси эллипса. В плоскости (m_b, x), где m_b — абсолютная болометрическая звездная величина, $x = 10 \lg T_{ef}$, отношение осей эллипса оказывается порядка 1 : 9, а угловой коэффициент большой оси равным —1,58. Согласно П. П. Паренаго [5] угловой коэффициент главной последовательности в этой плоскости равен —1,62, что удивительно согласуется с вычисленным нами значением. Таким образом, направление главной последовательности едва ли имеет физический смысл и получается просто из-за вытягивания масштабов, которыми пользуются в наблюдательной астрофизике.

Обратимся теперь к двойным звездам. Соединим отрезком прямой компоненты двойных звезд в плоскости ($\lg \rho$, $\lg \bar{B}$). Тогда, определив наклон этих отрезков, можно построить в нашей плоскости полярную диаграмму, на которой длина радиуса-вектора пропорциональна числу пар, имеющих данное направление в некотором интервале углов. При случайном объединении в пары звезд круга главной последовательности должно получиться хаотическое распределение направлений. Значит, в этом случае полярная диаграмма должна выглядеть полуокружностью. При случайном же объединении со звездами основного направления на полярной диаграмме должна образоваться вытянутость в направлении $\bar{B} \sim \bar{\rho}$, т. е. под углом 45°. Этот наш прогноз совершенно не подтверждается фактическим материалом.

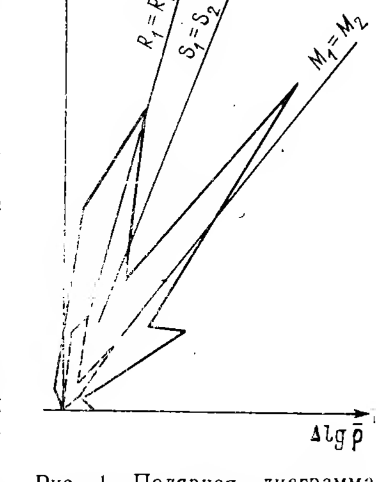


Рис. 1. Полярная диаграмма связи между физическими условиями внутри компонент двойных звезд (визуальных и затменных).

Пунктиром показана диаграмма, построенная только по визуально-двойным системам. По осям координат отложены десятичные логарифмы плотности материи и плотности лучистой энергии.

Для визуально двойных звезд нами был использован каталог П. П. Паренаго и А. Г. Масевич [6], для затменных двойных — результаты ревизии Н. И. Чудовичева. Эти каталоги дают наиболее полную и тщательно изученную сводку двойных звезд с известными M, R и L. Всего оказалось 60 пар, для которых можно было уверенно рассчитать наклон отрезков полярной диаграммы. Из них лишь 12 пар являются визуально-двойными. На рис. 1 показана полярная диаграмма, вычисленная по этому материалу. Интересно, что для взятых отдельно визуально-двойных систем получилось распределение (показанное пунктиром), подобное общему распределению, в котором наибольшую роль играют спектрально-двойные (затменные переменные) звезды.

Рис. 1 совершенно отчетливо показывает, что объединение звезд в пары не случайно, а накладывает некоторую зависимость на физические условия внутри звезд. Такая зависимость

могла бы возникнуть, например, при образовании пары путем разрыва некоторой первоначальной звезды. При этом процессе энергия звезд может измениться только за счет излучения с поверхности. Но эти потери ничтожны в сравнении с полным запасом энергии звезд. Поэтому процесс разрыва должен происходить адиабатически, т. е. при сохранении удельной энтропии. Значит, в компонентах пары за время их перестройки, т. е. за время шкалы Гельмгольца—Кельвина, должно сохраняться равенство удельных энтропий звезд пары ($s_1 = s_2$). Следовательно, для звезд из идеального газа должно выполняться условие

$$\rho_1/\rho_2 = (T_1/T_2)^{3/2}, \quad \text{или} \quad \Delta \lg B = (8/3)\,\Delta \lg \rho. \qquad (4)$$

Эта прямая постоянной энтропии с угловым коэффициентом $^8/_3$ показана на рис. 1. Она не совпадает ни с одним из двух «потоков» на диаграмме, а проходит между ними. Значит, распределение направлений компонент пар не подтверждает зависимости (4). Если двойные звезды и образовались путем разрыва первоначальной звезды, то время, прошедшее с тех пор, больше шкалы времени Гельмгольца—Кельвина, например для звезд типа Солнца больше десятков миллионов лет. Положение двух максимумов — двух «потоков» диаграммы (рис. 1) — отвечает условиям $\rho \sim T$ и $\rho \sim T^3$. Эти соотношения вряд ли имеют физический смысл. Согласно же формулам (3) первое соотношение равносильно условию $R_1 = R_2$, а второе $M_1 = M_2$. Поэтому найденное распределение просто означает, что чаще всего встречаются пары с одинаковыми массами компонент или с одинаковыми радиусами. Следовательно, эту диаграмму имеет смысл перестроить на обычную плоскость величин M и R. В результате получена диаграмма с осями координат $\Delta \lg R = \lg (R_1/R_2)$, $\Delta \lg M = \lg (M_1/M_2)$ и при условии $M_1 \geqslant M_2$ (рис. 2). На этой диаграмме каждой двойной звезде отвечает определенная точка. Главная последовательность и последовательность гигантов изображены соответствующими прямыми. Направление главной последовательности определено по каталогам Паренаго—Масевич и Чудовичева: $M \sim R^{0,7}$. Диаграмма на рис. 2 показывает, что звезды действительно не следуют этим наиболее вероятным направлениям, а отклоняются от них в сторону малых различий радиусов при больших $\Delta \lg M$ и малых различий $\Delta \lg M$ при больших различиях в радиусах.

Обратимся теперь к третьей основной характеристике звезд — их светимости L. Исследуем сначала зависимость светимости от радиуса для компонент двойных звезд. Эта задача равносильна вопросу о распределении направлений компонент двойных звезд на диаграмме Рессела — Герцшпрунга. Для решения данной задачи достаточно знать спектральные типы компонент и их видимые звездные величины. Поэтому здесь может быть

использован значительно более обширный материал. По каталогу Леонарда [1] для 238 пар визуально-двойных звезд были вычислены болометрические поправки и определены разности

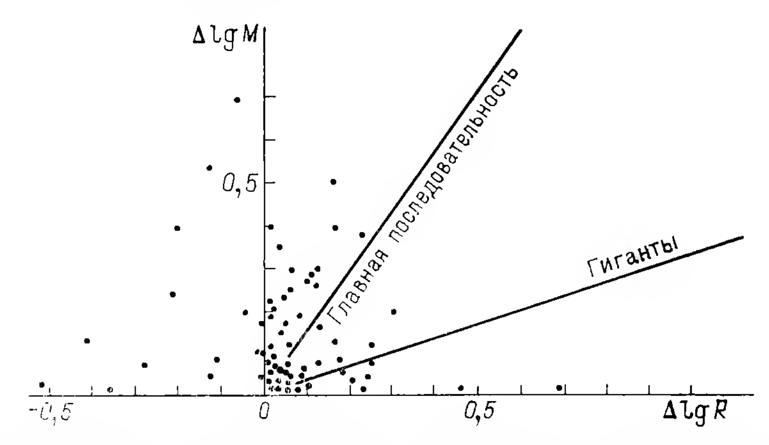


Рис. 2. Диаграмма зависимости разностей логарифмов масс компонент двойных звезд ($\Delta \lg M$) и разностей логарифмов их радиусов ($\Delta \lg R$).

болометрических звездных величин компонент пары Δm_b. Определив далее по спектральным типам эффективные температуры компонент T_{ef}, можно было вычислить $\Delta \lg R$ по формуле

$$5\,\Delta \lg R = -\Delta m_b - 10\,\Delta \lg T_{ef}. \qquad (5)$$

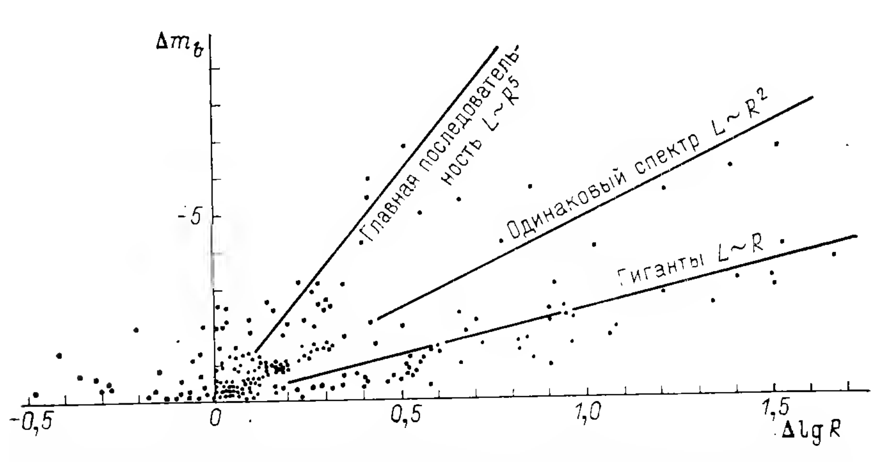


Рис. 3. Диаграмма зависимости разностей болометрических звездных величин компонент двойных звезд (Δm_b) и разностей логарифмов их радиусов ($\Delta \lg R$).

Результат произведенных вычислений показан на диаграмме (рис. 3). Осями координат этой диаграммы являются $\Delta \lg R$ и Δm_b. Каждой двойной звезде соответствует точка,

нанесенная при условии $m_{b_1} \leqslant m_{b_2}$, означающем, что более слабый компонент всегда находится в начале координат. Прямыми линиями на диаграмме показаны направления главной последовательности $L \sim R^5$, гигантов $L \sim R$ и одинаковых спектров $L \sim R^2$. Вероятность открытия пары, в которой объединены гигант и звезда главной последовательности, мала из-за большого различия их яркостей. Поэтому при случайном объ-

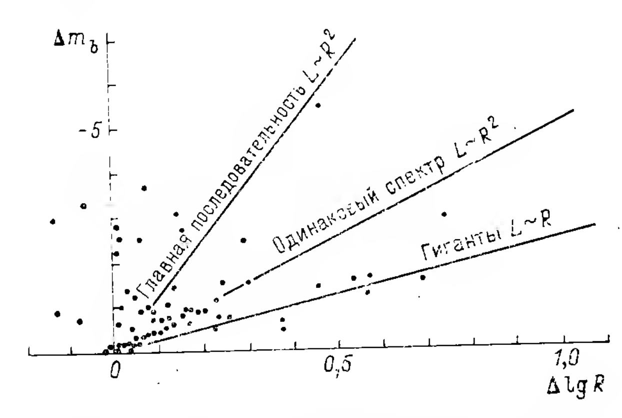


Рис. 4. Диаграмма (Δm_b, $\Delta \lg R$), построенная только по звездам с известными массами и параллаксами.

единении звезд в пары направления главной последовательности и гигантов должны быть выражены наиболее отчетливо. На самом же деле большое число звезд группируется около направления одинакового спектра. Этот поразительный результат нельзя никак отнести за счет статистической селекции. Действительно, вероятность открытия двойных звезд и их исследования не может зависеть от спектрального типа компонент. Поэтому преимущественное объединение в пары звезд одинакового спектрального типа, т. е. звезд с одинаковой плотностью потока лучистой энергии, является реальной особенностью двойных систем. Совершенно похожее распределение дает, как показывает диаграмма на рис. 4, и значительно более ограниченный материал, взятый из использованных нами ранее каталогов Паренаго—Масевич и Чудовичева. Аналогичные распределения получаются и при разделении материала по спектрам на две группы — позднее и ранее G0. Можно отметить только одно обстоятельство, что для звезд ранних спектральных типов направление одинаковых спектров выражено еще более отчетливо, чем для поздних.

Прямым следствием рассмотренных нами диаграмм «масса—радиус» ($\Delta \lg M$, $\Delta \lg R$) и «светимость — радиус» ($\Delta \lg L$, $\Delta \lg R$) должна быть диаграмма зависимости «масса — свети-

мость» ($\Delta \lg M$, $\Delta \lg L$). Первая из этих диаграмм показывает, что при больших различиях в массах компоненты двойных систем мало отличаются радиусами. Из второй диаграммы следует, что различие яркостей компонент зависит от различий радиусов с невысоким показателем степени: 2 — для звезд одинакового спектрального типа и 1 — для направления гигантов. Поэтому при большом различии масс не должно быть большого различия светимостей. Прямое построение соответствующей диаграммы (рис. 5) полностью подтверждает это заключение. Осями координат диаграммы являются — Δm_b и $\Delta \lg M$. Точками отмечены двойные системы с компонентами одинакового спектрального типа, а кружками все другие системы. Диаграмма построена при условии $\Delta \lg M \geqslant 0$. Прямая линия изображает хорошо известную зависимость $L \sim M^3$, которой следуют звезды, входящие в разные двойные системы, т. е. при отсутствии физической связи между ними. Под углом 45° должно проходить направление $L \sim M^4$. Как видно из этой диаграммы, компоненты двойных систем совершенно не следуют этим направлениям, а действительно показывают малые различия яркостей при большом различии в массах.

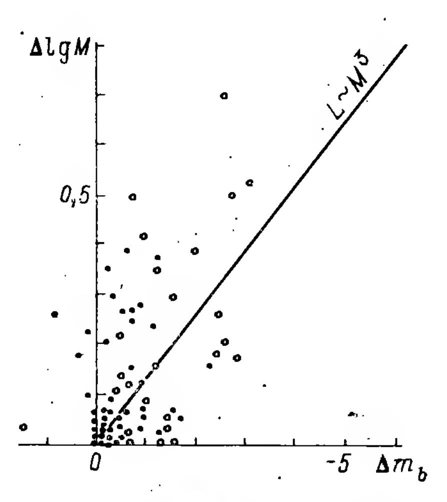


Рис. 5. Диаграмма зависимости разностей болометрических звездных величин компонентов двойных звезд (Δm_b) и разностей логарифмов их масс ($\Delta \lg M$).

Точками указаны пары с близкими спектрами у компонент, кружками — все остальные пары.

Соотношение «масса — светимость» является фундаментальным соотношением наблюдательной и теоретической астрофизики. Оно определяется условиями передачи энергии из недр звезды наружу. Поэтому нарушение этого соотношения говорит о том, что отмеченные выше особенности физических свойств компонент двойных систем вызваны не специальным отбором звезд при их объединении, а нарушением обычных условий равновесия при их совместном существовании. Для обоснования этого заключения рассмотрим подробнее соотношение «масса — светимость» звезд.

На диаграмме рис. 5 вблизи начала координат группируются звезды только одного спектрального типа. Значит, при одинаковых массах и радиусах одинаковы и светимости звезд. Это обстоятельство справедливо не только для компонент

двойных звезд. Выбрав звезду некоторой светимости с любыми массой и радиусом, можно утверждать, что всякая звезда с теми же массой и радиусом будет иметь и ту же светимость. Отсюда следует, что светимость является однозначной функцией массы и радиуса. В эту зависимость радиус входит лишь в слабой степени, как это следует и из теоретических соображений при передаче тепла из недр звезды путем лучеиспускания. Обычно

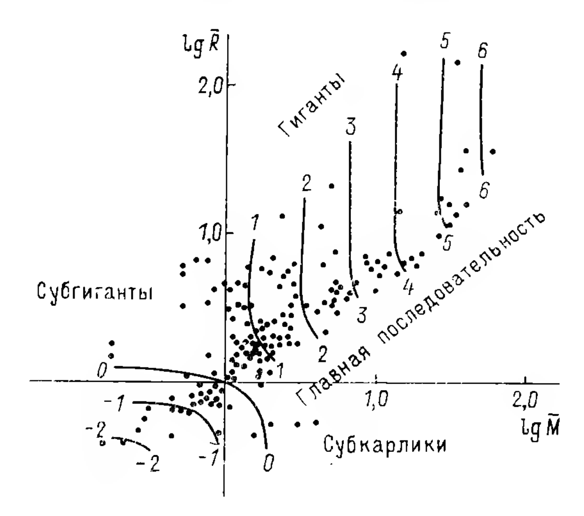


Рис. 6. Диаграмма зависимости $L(M, R)$.

Все величины даны в десятичных логарифмах. Изображенные линии представляют собой «изофоты» — линии постоянной светимости.

учет этого влияния радиуса производится путем построения не сильно отличающихся друг от друга зависимостей «масса — светимость» для различных групп звезд на диаграмме Рессела—Герцшпрунга. С теоретической же точки зрения весьма важно установить, существует ли действительно единая зависимость «светимость — масса — радиус».

В нашей работе по внутреннему строению звезд [4] приведена диаграмма, показывающая, что производительность источников звездной энергии ε является однозначной функцией физических условий внутри звезд — ρ и B. По формулам (3) отсюда следует, что и L должно быть однозначной функцией M и R. Поскольку речь идет о статистическом материале, такое заключение должно быть проверено непосредственным построением диаграммы $\bar{L}(\bar{M}, \bar{R})$. Эта диаграмма, построенная по каталогам Паренаго — Масевич, Чудовичева, изображена на рис. 6. Звезды показаны точками. Этим точкам были приписаны соответствующие светимости, позволившие провести изображенные с десятикратным интервалом логарифма «изофоты» — линии одинаковых

светимостей. Для упрощения чертежа индивидуальные светимости звезд не показаны. Дисперсия значительна и того же порядка, как на диаграмме $\varepsilon(\rho, B)$ цитированной выше работы, где написаны индивидуальные значения точек. Построенная поверхность $\bar{L}(\bar{M}, \bar{R})$ обладает удивительной симметрией. Центром симметрии являются звезды спектрального типа F4 главной последовательности. Это обстоятельство подчеркивает хорошо известное разделение здесь главной последовательности на две части с принципиально отличными физическими и кинематическими характеристиками звезд. Для гигантов изофоты диаграммы идут параллельно оси ординат. Следовательно, для гигантов строго выполняется соотношение «масса — светимость». Интервалы между изофотами приблизительно равны, и им соответствует зависимость $L \sim M^{3,2}$. Наиболее сильная зависимость светимости от радиуса получается у звезд поздних спектральных типов главной последовательности.

Выясним теперь, какие двойные системы и какие из их компонент дают наибольшие отклонения от средней зависимости $\bar{L}(\bar{M}, \bar{R})$ диаграммы на рис. 6, построенной по всему материалу. Обозначим через Δ_L разность логарифмов наблюдаемой светимости и вычисленной по диаграмме $\Delta_L = \lg \bar{L}_0 - \lg \bar{L}_C$. Для двойных звезд с компонентами одинаковых масс и одинаковых радиусов среднее отклонение $\bar{\Delta}_L = \frac{\sum \Delta_L}{n} = 0{,}00$. Среднее квадратичное отклонение, характеризующее точность нашей диаграммы, получается равным 0,25. Для компонент одинаковых масс, но разных радиусов среднее отклонение $\bar{\Delta}_L$ получается также близким к нулю и равным $+0{,}03$ как для компонент больших, так и малых радиусов. Иную картину дают двойные системы с компонентами разных масс. Для главных, массивных звезд системы среднее отклонение по-прежнему невелико: $\bar{\Delta}_L = +0{,}07$, но для их спутников получается весьма существенное отклонение: $\bar{\Delta}_L = +0{,}33$. Особенно подчеркивается это обстоятельство для двойных систем спектральных типов, более ранних, чем F4. Для таких систем у главных звезд $\bar{\Delta}_L = +0{,}08$, а у их спутников $\bar{\Delta}_L = +0{,}47$. Теперь мы можем утверждать, что особенность диаграммы на рис. 5, показывающей небольшие различия светимостей при больших различиях в массах компонент двойных систем, происходят из-за аномально высокой светимости у компонент малой массы. Если бы этот компонент образовывал пару с равной ему по массе звездой, он бы имел нормальную светимость, соответствующую зависимости $\bar{L}(\bar{M}, \bar{R})$.

Остается заключить, что главная звезда воздействует на спутник. В результате их длительного сосуществования спутник выходит из обычного состояния равновесия и начинает по ряду физических свойств приближаться к свойствам главной звезды. Отсюда и получаются отмеченные выше особенности диаграмм на рис. 2, 3, 5. Интересно, что оси распределений звезд на диаграммах рис. 2, 5 не совпадают с осью ординат, а сдвинуты вправо, т. е. в сторону указанных там направлений обычного состояния звезд. Это обстоятельство находится в полном соответствии с нашим заключением о том, что особенности спутника вызваны лишь отклонением его от нормального состояния в сторону сближения с характеристиками главной звезды. Симметричное же расположение звезд относительно линии одинаковых спектров диаграмм на рис. 3 связано, вероятно, с тем, что это направление находится между направлениями обычного состояния звезд — главной последовательности и гигантов. Рассмотренные статистические данные позволяют еще заключить, что влияние главной звезды на спутник проявляется одинаковым образом, как у близких друг к другу спектрально-двойных звезд, так и у разделенных большим расстоянием визуально-двойных.

Вероятно, в последнем случае требуется только более длительное время для осуществления этого влияния. В заключение проведенной нами дискуссии наблюдательного материала формулируем вытекающие из нее выводы.

1. В двойных системах, у которых массы компонент одинаковы ($M_1 = M_2$), не замечается никаких особенностей в наблюдаемых характеристиках L и R этих компонент. Показанная диаграммами на рис. 1 и 2 возможность различий радиусов при малых различиях масс указывает на возможность существенных различий и в их спектральных типах.

2. При объединении звезд с разными массами происходит изменение характеристик L_2 и R_2 менее массивного компонента ($M_2 < M_1$):

а) спектральный тип спутника выравнивается со спектральным типом главной звезды;

б) радиус спутника приближается к радиусу главной звезды;

из этих обстоятельств вытекает:

в) яркость спутника сближается с яркостью главной звезды.

3. Перечисленные закономерности выявляются более отчетливо у звезд ранних типов и существуют в равной мере как у визуальных, так и у спектральных двойных затменных переменных.

Очевидно, в физически связанных парах происходит влияние одной звезды на другую. Это влияние в наиболее сильной

степени сказывается на менее массивном компоненте, хотя, вероятно, существует и обратное влияние его на главную звезду. С увеличением массы спутника, естественно, может увеличиваться и его сопротивляемость влиянию главной звезды. Тогда при равных массах эффект влияния будет иметь минимальное значение и может не обнаруживаться статистическим исследованием.

При таких больших расстояниях между компонентами, как в визуально-двойных системах, разумеется, совершенно невозможно воздействие этих звезд друг на друга ни гравитационным, ни любым другим полем, ни потоком лучистой энергии. Также невозможно объяснить выравнивание свойств звезд двойной системы их эволюцией. Не говоря уже о том, что при своем развитии звезды должны оставаться на поверхности $\overline{L}(\overline{M}, \overline{R})$, эволюционное выравнивание может происходить в основном за счет более скорого уменьшения светимости главной звезды и уж никак не за счет увеличения светимости спутника. С точки зрения гипотезы термоядерных источников звездной энергии уже сам по себе факт преимущественного объединения звезд с одинаковым спектром едва ли можно объяснить даже при самых неправдоподобных предположениях о различии начального химического состава звезд.

Существование поверхности $\overline{L}(\overline{M}, \overline{R})$ или ей равносильной $\overline{\varepsilon}(\overline{\rho}, \overline{B})$ является очень серьезным доводом против гипотезы ядерных источников звездной энергии. Такая поверхность была бы при саморегулировании процесса излучения, например при остывании звезд, т. е. при отдаче ранее запасенной энергии. Этот вывод об отсутствии в звездах специальных источников энергии, которые не зависят от процессов теплопередачи, был подробно обоснован в наших работах по внутреннему строению звезд [4]. Получается, что проблема свечения звезд является частным случаем общей проблемы — почему во Вселенной отсутствуют равновесные состояния. Если во Вселенной действует принцип недостижимости равновесных состояний, то это означает существование всегда и при всех обстоятельствах различия будущего от прошедшего. Если это различие реально и течение времени является объективным физическим свойством времени, то оно должно проявляться воздействием на материальные системы. Это воздействие будет препятствовать осуществлению равновесных состояний, при которых нет отличия будущего от прошедшего, т. е. нет течения времени. Препятствуя звездам перейти в равновесное состояние, течение времени будет источником их энергии. Время нельзя рассматривать оторванно от материи. Все процессы, происходящие в материальных системах Вселенной, являются источниками, питающими общий поток времени, который в свою очередь действует

на материальные системы. Поэтому следует ожидать существования связи между системами и возможности воздействия одной системы на другую через время. Возможность таких воздействий, разумеется, должна быть в пространстве ограничена некоторым расстоянием. Тогда отмеченные сходства компонент двойных систем должны получиться из-за воздействия процессов одной звезды на процессы в другой через время при больших сроках их сосуществования и сравнительно небольших расстояниях между ними.

Серьезное обоснование вышеизложенной концепции о материальных свойствах времени может дать только физический эксперимент земной лаборатории. Работа, проведенная нами в этом направлении, состояла из следующих этапов [7].

1. Принцип причинности позволяет определить ход времени, т. е. темп течения времени как скорость превращения причины в следствие. Требование независимости этого определения от систем счета времени и пространства устанавливает, что ход времени представляет собой псевдоскаляр, имеющий размерность скорости. Следовательно, ход времени имеет свойства линейной скорости поворота. Поэтому можно ожидать, что в причинных связях между покоящимся и вращающимся телом к обычному ходу времени c_2 будет добавляться линейная скорость вращения тела u. В результате могут появиться дополнительные силы, направленные по оси вращения, составляющие долю u/c_2 от обычных сил, действующих в системе. Опыты, произведенные с гироскопами, действительно показали появление этих дополнительных сил и позволили определить величину $c_2 = +700$ км/с в левой системе координат. В этих опытах для получения причинной связи необходимо было вводить в систему некоторый необратимый процесс. Дальнейшие опыты удалось значительно упростить, применяя неподвижные тела, но используя вращение Земли. Дело в том, что вес тела слагается из притяжений масс Земли, вращающихся с различными линейными скоростями. Таким образом, весу соответствует некоторая усредненная скорость, отличная от линейной скорости данного места Земли, с которой связаны другие силы системы. Возникающие дополнительные силы, направленные по оси вращения Земли, наблюдались на длинных маятниках, крутильных и обыкновенных рычажных весах. Появление этих сил означает, что время действительно может сообщать энергию материальным системам. Время еще может изменить момент вращения, но оно не может влиять на полный импульс системы.

2. Дальнейшие наблюдения показали, что степень необратимости процесса, вводимого в систему для установления различий причин и следствий, часто меняется из-за каких-то внешних обстоятельств, не связанных с обстановкой опытов. Оказалось, что подобные изменения условий появления дополнительных сил можно получить, осуществляя вблизи системы различного

рода достаточно энергичные, необратимые процессы. Эти опыты прямо доказывают возможность воздействия одной материальной системы на другую с помощью времени. Поскольку время не передает импульса, такие воздействия не могут распространяться и их существование означает возможность мгновенной связи. Передача воздействий через время показывает, что, помимо постоянного хода времени c_2, у времени есть еще и переменное свойство, которое может быть названо плотностью времени. В окрестностях необратимого процесса изменяется плотность времени, и это обстоятельство действует на другие процессы и другие системы. Нарушения плотности времени медленно убывают с расстоянием, скорее всего, обратно первой степени расстояния.

Перечисленные здесь результаты лабораторных исследований показывают, что в природе могут происходить воздействия не только через силовые поля. Источником таких воздействий являются необратимые процессы, т. е. причинно-следственные отношения. Астрономическим примером воздействий этого рода и являются особенности физического состояния звезд в двойных системах. Основной необратимый процесс в звездах заключается в передаче энергии из недр звезд наружу. Процесс излучения главной звезды, изменяя плотность времени, может влиять на поток излучения спутника и приближать его к потоку излучения главной звезды. Таким путем может получиться выравнивание спектральных типов компонент пары, что совершенно удивительно со всякой другой точки зрения. Опыты показывают, что ход времени проявляет себя на вращающихся телах. Поэтому эффект влияния в парах должен быть сильнее у быстровращающихся звезд, т. е. у звезд ранних спектральных типов.

Эти закономерности и были отмечены при анализе наблюдательного материала. С изменением потока лучистой энергии должна происходить и некоторая перестройка звезд. Будет, например, изменяться их радиус. Выяснение этих обстоятельств требует глубокого ознакомления со свойствами времени. Без соответствующей экспериментальной работы вряд ли имеет смысл дальнейшее обсуждение подробностей влияния звезд через время.

Наверное, вращение звезд благодаря псевдоскалярным свойствам хода времени самым тесным образом связано с их излучением. В передаче же энергии из недр звезд может существенную роль играть и передача воздействий с помощью времени. Возможно, что учет этих обстоятельств позволит понять особенности зависимости $L(M, R)$, изображенной на диаграмме рис. 6.

12 Заказ № 23

Указатель литературы

1. Leonard F. C. An investigation of the spectra of visual double stars// Lick observatory bulletins. 1923. Vol. 10. N 343. P. 169—194 (Univ. of California Publications. Astronomy).
2. Shajn G. 1) Results of observations of the double stars and their relation to the giants and dwarfs theory//Изв. Гл. российской астрон. обсерв. 1925. Т. 10. Вып. 2. № 95. С. 284; 2) On the mass-ratio in double stars// Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1925. Vol. 85. N 3. P. 245—252.
3.* Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43.
4.* Козырев Н. А. Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.
5. Паренаго П. П. Обобщенная зависимость масса—светимость//Астрон. журн. 1939. Т. 16. Вып. 6. С. 13.
6. Паренаго П. П., Масевич А. Г. Исследование зависимости масса—радиус—светимость//Труды Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга. 1951. Т. 20. С. 81—146.
7.* Козырев Н. А. 1) Причинная механика и возможность экспериментального исследования свойств времени//История и методология естественных наук. Вып. 2: Физика. М., 1963. С. 95—113; 2) Неизведанный мир// Октябрь. 1964. № 7. С. 183—192.

О СВЯЗИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗЕМЛИ И ЛУНЫ

В качестве объективного признака тектонической активности Земли рассмотрены интенсивные землетрясения с очагом, расположенным глубже земной коры. Признаком же тектонической активности Луны могут служить любые временные явления на Луне, каталог которых составлен Б. Миддлхерст. Исследованный материал составляет список 630 землетрясений и 370 временных явлений на Луне за время 1904—1967 гг.

Установлено существование двух типов связи между тектоническими явлениями Земли и Луны:

1) спусковой механизм приливных воздействий через гравитационное взаимодействие Луны и Земли;

2) непосредственная причинная связь тектонических процессов Земли и Луны, которая может осуществляться через материальные свойства времени.

Эта связанность процессов позволяет сделать вывод о синхронности горообразовательных циклов Земли и Луны.

Землетрясения являются наиболее ярким, позволяющим делать количественные оценки физическим признаком тектонической активности Земли. Для Луны таким признаком могут служить любые временные явления, наблюдаемые иногда на ее поверхности. Обширный каталог этих явлений был недавно опубликован Б. Миддлхерст [1]. Несмотря на критическое отношение авторов каталога к опубликованному материалу, в нем все же могли остаться и ошибочные сведения. Однако для статистических исследований это обстоятельство едва ли представляет серьезную опасность. Значительно важнее постоянно иметь в виду чрезвычайную селективность материала этого каталога. Селективность связана с метеорологическими условиями наблюдений Луны, ее фазами, высотой над горизонтом и даже просто с интересом астрономов к подобным наблюдениям. Поэтому совершенно исключается возможность непосредственного сопоставления количества лунных явлений с количеством и интенсивностью землетрясений.

В отличие от селективного характера лунных наблюдений начиная с 1904 г. происходила полная регистрация землетрясений по всему земному шару. Среди множества землетрясений, зарегистрированных сейсмическими станциями, необходимо выделить те, которые связаны с тектоническими процессами масштаба, близкого к планетарному. Для этой цели можно выделить землетрясения большой магнитуды и с глубоким расположением очага. Из каталога Гутенберга и Рихтера [2], содержащего полный список землетрясений с магнитудой больше 7, за 1904—1946 гг. были взяты только данные, относящиеся к промежуточным (глубина очага $70 < H < 300$ км) и глубоким

Козырев Н. А. О связи тектонических процессов Земли и Луны// Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1971. № 186. С. 81—87.

($H>300$ км) землетрясениям. Для позднейших лет по 1967 г. включительно и для тех же типов землетрясений данные были выбраны из международных сейсмических бюллетеней. При этой выборке чаще всего магнитуду землетрясений приходилось оценивать весьма приблизительно, по числу отметивших их сейсмических станций. По-видимому, нижнюю границу магнитуд землетрясений полученного этим отбором списка следует считать равной 6,5. К сожалению, взятый принцип отбора не гарантирует полноту материала. Действительно, крупные тектонические процессы могут быть связаны и с неглубокими интенсивными землетрясениями, очаг которых находится внутри земной коры ($h<70$ км). Однако оправданием нашего отбора является точность его признаков, обеспечивающая однородность исследуемого материала. В результате был составлен список 630 землетрясений, происшедших за время с 1904 по 1967 г. В каталоге же Б. Миддлхерст за этот период отмечено около 370 временных явлений на Луне.

Земля и Луна представляют собой систему тел, находящихся под сильным приливным, т. е. гравитационным, воздействием друг на друга. Под действием лунных приливов земная кора совершает упругие, без запаздывания, полусуточные колебания с амплитудой порядка 20 см. На Луну же приливное действие со стороны Земли должно быть значительно бóльшим. Высота прилива определяется отношением потенциала приливообразующих сил к силе тяжести. Этот потенциал пропорционален квадрату радиуса тела и массе другого, воздействующего, тела. Поэтому потенциал приливных сил на Луне в пять раз больше, чем на Земле. Сила же тяжести на Луне в шесть раз меньше. Отсюда следует, что деформация поверхности Луны должна быть в 30 раз больше деформации поверхности Земли и составлять приблизительно 6 м. Однако из-за синхронности вращения Луны и обращения ее вокруг Земли колебания высоты приливного выступа, т. е. колебания лунной коры, могут происходить только за счет изменения расстояния от Луны до Земли. Это расстояние вследствие значительного эксцентриситета лунной орбиты может меняться на 50 000 км, а в среднем на 40 000 км, что составляет около 0,1 среднего расстояния. Изменение потенциала приливных сил происходит обратно кубу расстояний и будет поэтому составлять около 0,3 его среднего значения. Поэтому можно ожидать колебаний лунной коры с периодом, равным аномалистическому месяцу, и амплитудой порядка 2 м. На возможность таких больших колебаний лунной коры и их значение для тектоники Луны впервые указал Джек Грин [3]. Разумеется, сделанные оценки справедливы лишь в случае сходства механических свойств лунной и земной коры.

Изменение геоцентрических расстояний Луны должно создавать и в колебаниях земной коры изменения на те же 0,3 от их

среднего значения. Следовательно, должны происходить длительные, с периодом, равным аномалистическому месяцу, колебания земной коры с амплитудой порядка 6 см. Для земной коры почти такое же и даже несколько большее значение имеет сочетание лунных и солнечных приливов, величина которых составляет 5/11 от лунных приливов. В сизигиях колебания

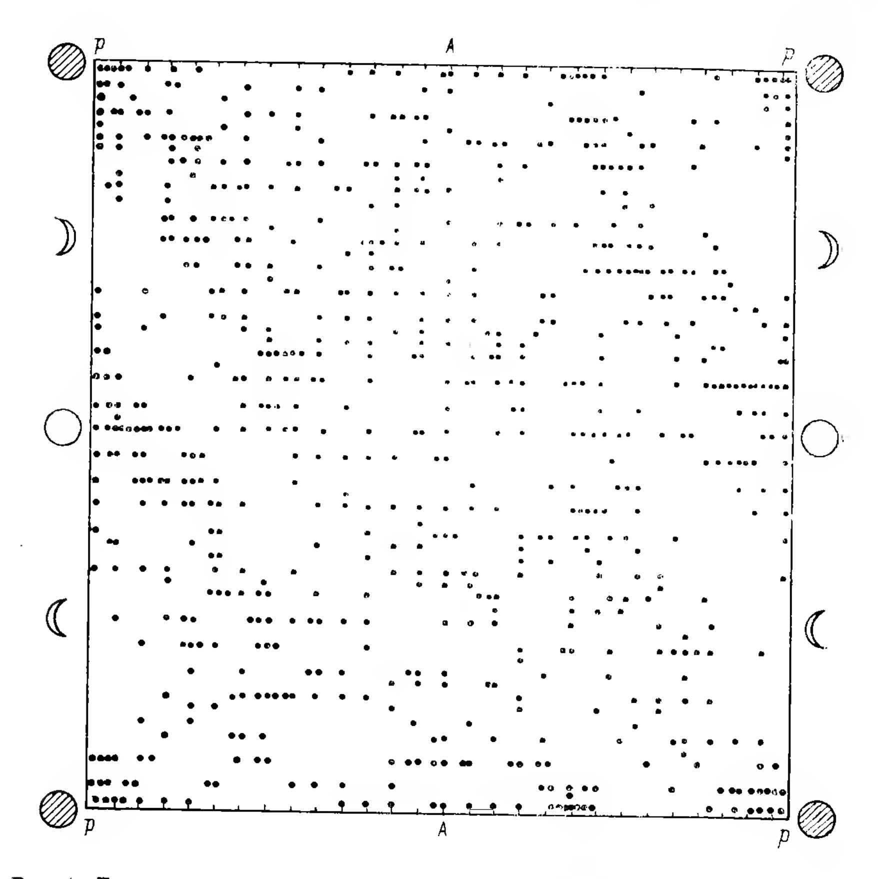


Рис. 1. Диаграмма распределения землетрясений в зависимости от фаз Луны и положения ее на орбите.

коры должны быть на 9 см больше, а в квадратурах на 9 см меньше средних колебаний. Получается другой длинный период, равный половине синодического месяца. Вполне возможно, что эти два периода в какой-то мере сказываются на тектонической активности Земли и, в частности, на частоте землетрясений.

Для выяснения этого вопроса построена диаграмма (рис. 1), на которой указаны землетрясения в зависимости от фазы Луны

и положения ее на орбите. При построении диаграммы мы полностью отвлекались от всех неравенств движения Луны. Были взяты средние значения синодического (29.5 дня) и аномалистического месяцев (27.5 дня). На диаграмме нанесены средние положения сизигий и квадратур, а апогей (A) показан как средний момент между соседними перигеями (P). Для каждого землетрясения определялось его расстояние во времени до ближайшей, отмеченной на диаграмме, фазы Луны и до момента прохождения Луны через перигей или апогей. Возникающая от сделанных упрощений неопределенность построения едва ли достигает одних суток. На построенной диаграмме каждое землетрясение отмечено точкой. Землетрясения, попадающие на рамку диаграммы, отмечены по соседству с ней, внутри диаграммы, и повторены у каждой из противоположных сторон рамки.

Построенная диаграмма совершенно отчетливо показывает, что вблизи перигея землетрясения чаще всего происходят в сизигиях, т. е. при полнолунии и новолунии, и их в то время почти не бывает около квадратур. Второй хорошо выраженной особенностью диаграммы является группировка землетрясений вдоль направлений, идущих под углом 45° от сизигиев в перигее.

Эти направления представляют собой последовательность дней тех лунаций, у которых новолуние или полнолуние совпадало с перигеем. Следовательно, благоприятными для землетрясений являются не только дни максимальных приливов земной коры, но и дни, непосредственно следующие за ними. Таким образом, максимальные приливы в такой степени нарушают состояние наружных слоев Земли, что в течение времени порядка месяца сохраняются условия, благоприятствующие землетрясениям.

Для лунных явлений из-за большой селективности материала, зависящей от фазы Луны, нельзя построить диаграмму, подобную рассмотренной нами для землетрясений. Впрочем построение такой диаграммы едва ли имеет смысл из-за малого значения солнечных приливов по сравнению с земными для наружных слоев Луны. Для выяснения же роли земных приливов достаточно построить график зависимости числа лунных явлений от дней аномалистического месяца, т. е. от положения Луны на орбите. Построенная таким образом зависимость должна быть совершенно свободной от статистической селекции, поскольку условия наблюдения Луны не могут зависеть от небольших изменений расстояния ее до Земли. Впервые эта зависимость была получена Б. Миддлхерст [4] на основе ее первого каталога [5]. Получился значительный максимум лунных явлений в перигее и второй, более слабый, максимум в апогее. Весьма интересно сравнить эту зависимость с аналогичной зависимостью для землетрясений, которую можно получить суммированием числа землетрясений вдоль вертикальных столбцов диаграммы 1.

Верхняя кривая на рис. 2 дает зависимость числа землетрясений от различных моментов положения Луны на орбите. Здесь, как и при построении рис. 1, взят средний аномалистический месяц и среднее положение апогея. Нижняя кривая на рис. 2 дает число временных лунных явлений, наблюдавшихся за то же время, т. е. с 1904 по 1967 гг., согласно каталогу [1]. В отличие от результатов Б. Миддлхерст, получились максимумы не только в перигее и апогее, но и вблизи моментов наибольшей скорости изменения геоцентрического расстояния Луны. Те же особенности имеет и верхняя кривая числа землетрясений. Обе кривые имеют большое сходство, причем замечается некоторый сдвиг, на 1—2 дня, кривой лунных явлений в сторону опережения кривой землетрясений. Если этот сдвиг реален, то он может объясняться большим приливным воздействием Земли на Луну, вызывающим более быструю, чем у Земли, реакцию наружных слоев Луны. Максимум явлений в перигее, вероятно, объясняется ослаблением прочности коры при максимальном приливе. Другие максимумы, очевидно, тоже связаны с особенностями состояния коры и мантии при быстрых изменениях приливных напряжений и при максимальном сжатии вблизи апогея. Независимо от объяснения особенностей кривых их сходство может служить указанием на сходство механических свойств наружных слоев Земли и Луны.

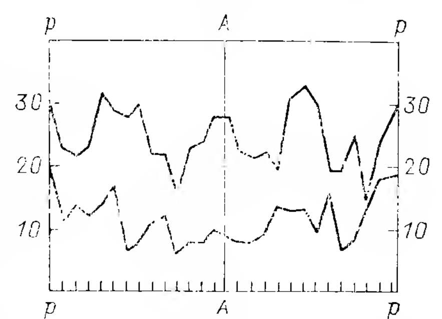


Рис. 2. Зависимость числа землетрясений (верхняя кривая) и числа лунных явлений (нижняя кривая) от положения Луны на орбите.

Помимо рассмотренной статистической связи тектонических явлений Луны и Земли, которая получается из-за гравитационного взаимодействия этих тел, между тектоническими явлениями Луны и Земли существует еще и прямая генетическая связь. Действительно, рассмотрим, например, явления, происходившие в 1897 г. В этом году произошли четыре разрушительных землетрясения с магнитудой больше 8.5: великое индийское землетрясение 12 июня и землетрясения 5 августа, 20 и 21 сентября [6]. За этот год в первом каталоге Б. Миддлхерст приведено одно сообщение о явлении на Луне 21 сентября. Во втором каталоге содержатся четыре сообщения о явлениях: 14 июня, 21 сентября, с 8 по 15 октября и 9 декабря. Предполагать случайность совпадений лунных явлений 14 июня и 21 сентября с землетрясениями 12 июня, 20 и 21 сентября

совершенно неправдоподобно. В такой же степени столь близкое совпадение нельзя объяснить и статистическим сходством кривых рис. 2. Скорее всего, имеется прямая причинная связь между явлениями Земли и Луны, которую надлежит изучить на основе всего отобранного материала.

Намеченное исследование надо провести так, чтобы совершенно исключить селективность каталога лунных явлений. Сначала рассмотрим простейший случай, когда землетрясения происходят в моменты, достаточно удаленные друг от друга. Построим график, в котором все моменты землетрясений совмещаются с началом координат. По оси абсцисс будем откладывать промежуток времени в днях от момента лунного явления до ближайшего землетрясения. Таким образом, вправо будут отложены моменты лунных явлений, следующих за землетрясением, а влево—предшествующих ему. По оси ординат будем откладывать число лунных явлений, подсчитанное для соответствующих промежутков времени между явлением и землетрясением. Поскольку условия наблюдений лунных явлений не зависят от землетрясений, селективность каталога будет выражаться лишь пропуском некоторых происходивших явлений. При случайном, независимом от землетрясений, распределении лунных явлений вероятности любых промежутков времени до землетрясений одинаковы, и на графике мы должны получить прямую, параллельную оси абсцисс. Наоборот, при полной согласованности лунных явлений с землетрясениями должна получиться прямая, параллельная оси ординат. Таким образом, наш график дает простую возможность судить о степени связи лунных явлений с землетрясениями.

В общем случае, когда возможны короткие интервалы между землетрясениями, описанный метод требует известной коррекции. Мы будем по-прежнему подсчитывать число лунных явлений N_i, удаленных от ближайшего землетрясения на i дней. Но теперь не все интервалы между землетрясениями будут допускать существование явления на этих расстояниях i. Полученные числа N_i должны быть пропорциональны числам n_i, определяющим истинное распределение, и общему числу интервалов, допускающих явление на расстоянии i от землетрясения. Обозначим через ν_d число интервалов между землетрясениями продолжительностью d дней. Тогда

$$N_i \sim n_i \sum_{d=2i}^{\infty} \nu_d.$$

Явления, совпадающие с землетрясениями, допускаются всеми интервалами. Поэтому

$$N_0 \sim n_0 \sum_{d=1}^{\infty} \nu_d.$$

Естественно сделать приведение чисел N_i к полному числу интервалов. Это значит, что мы будем считать $N_0=n_0$.

Тогда из написанных выражений получается окончательная формула расчета истинного распределения

$$n_i = N_i \frac{\sum_{d=1}^{\infty} \nu_d}{\sum_{d=2i}^{\infty} \nu_d}. \qquad (*)$$

При случайном распределении лунных явлений расчет по этой формуле должен опять дать на нашем графике прямую, параллельную оси абсцисс.

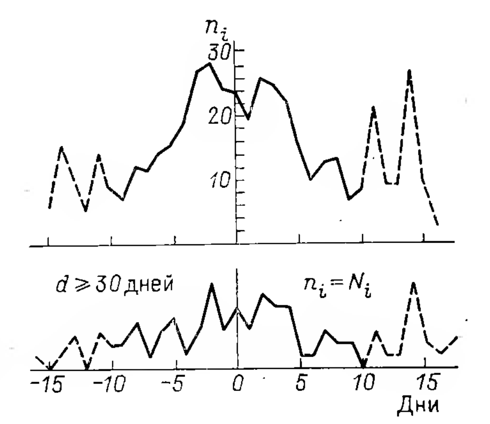


Рис. 3. Кривые числа лунных явлений для дней, отсчитанных от ближайшего по времени землетрясения.

Верхняя кривая построена по всему материалу (1904—1967 гг.), нижняя кривая построена по тому же материалу, но только для землетрясений, между которыми интервал времени больше 30 сут.

С 1904 по 1967 г. материал оказался очень неоднородным в отношении распределения интервалов между землетрясениями. Поэтому он был разбит нами на три группы. По формуле (*) для каждой из этих групп вычислялись отдельно значения n_i, и потом была составлена их сумма, представленная верхней кривой на рис. 3. На расстояниях свыше 10 дней коэффициент, на который по формуле (*) умножались значения N_i, становился очень значительным, порядка 4. Кроме того, начинала сильно сказываться статистическая недостаточность материала. Поэтому дальше 10 дней от начала координат кривую нельзя провести уверенно, и на графике она показана пунктиром. Полученное распределение совершенно явно доказывает существование связи лунных явлений с землетрясениями. Двойной и сравнительно резкий максимум около нуля показывает, что число лунных явлений увеличивается почти в три раза по сравнению с фоном, т. е. с числом этих явлений для дней, отдаленных от землетрясений.

Раздвоение максимума числа лунных явлений по обе стороны нуля нельзя отнести за счет некоторой неопределенности знака, которая может получиться в методе расстояний до

ближайшего землетрясения. При использовании этого метода запаздывающее на несколько дней явление может оказаться ближе к следующему землетрясению и будет тогда учитываться как явление опережающее. Однако при расстоянии максимумов на 2—3 дня от нуля эта неопределенность может сказаться лишь при малых интервалах, число которых существенно мень-

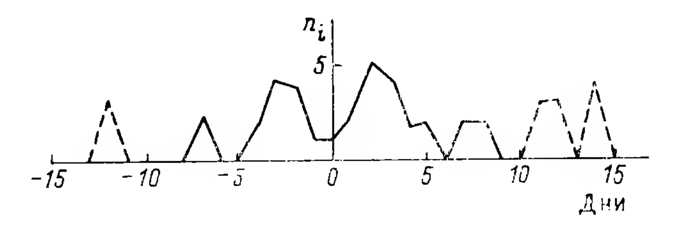


Рис. 4. Кривая числа лунных явлений для дней, отсчитанных от ближайшего землетрясения, построенная по ограниченному материалу (1948—1953 гг.).

ше общего числа более длинных интервалов между землетрясениями. Чтобы убедиться в этом, на рис. 3 снизу показана кривая распределения лунных явлений, подсчитанная только по большим интервалам между землетрясениями: $d \geqslant 30$ дней. Для этих интервалов расчет можно производить без всякой коррекции: $n_i = N_i$ при $i < 15$ дней. Из-за малого числа таких данных разброс точек кривой очень велик, но, несмотря на это, совершенно отчетливо выступают те же два максимума около нуля. Два максимума получались и в каждой из трех групп, на которые при обработке был разбит материал. Для иллюстрации этого обстоятельства на рис. 4 показано распределение лунных явлений для самой малочисленной из групп, охватывающей материал с 1948 по 1953 г. Таким образом, оба максимума получаются совершенно реально, и их существование не может вызывать сомнений. Максимум числа лунных явлений, наступающих приблизительно через 2 дня после землетрясений, показывает, что процесс в наружных слоях Земли непосредственно вызывает аналогичный процесс и в наружных слоях Луны. Что касается максимума лунных явлений, предшествующих землетрясениям, то его существование можно объяснять двояко. Можно считать, что перед землетрясениями внутри Земли начинаются процессы, которые могут сказываться на поверхности Луны и проявляться там раньше, чем на поверхности Земли. Поведение животных перед землетрясениями действительно указывает на существование каких-то предварительных явлений. Другое же, более простое, объяснение заключается в том, что существует не только влияние Земли на Луну, но и влияние Луны на Землю. Тогда предшествующий максимум будет не максимумом лунных явлений перед землетрясениями, а максимумом числа землетрясений после лунных явлений. Получаются

приблизительно равные запаздывания в причинно-следственных отношениях Земли и Луны.

Чтобы выяснить, какое из двух возможных предположений является правильным, обратимся к графикам, представленным на рис. 5. Здесь для трех групп лунных явлений дано их распределение в зависимости от положения Луны на орбите. Верхний график построен для явлений, соответствующих предшествующему максимуму, для которых $i = 1$—2 дням. Средний график дает число явлений, совпадающих с землетрясениями в пределах одного дня: $i = 0$. Нижний соответствует последующему максимуму с явлениями, для которых $i = +1, +2$ дня. Из этих графиков только средний показывает не случайное распределение, а резко выраженную группировку явлений около перигея. Значит, совпадение лунных явлений с землетрясениями в основном может происходить только при особо благоприятных условиях сильного ослабления земной и лунной коры под влиянием приливного воздействия. Если бы предшествующий максимум был связан со своеобразным предчувствием землетрясений, то

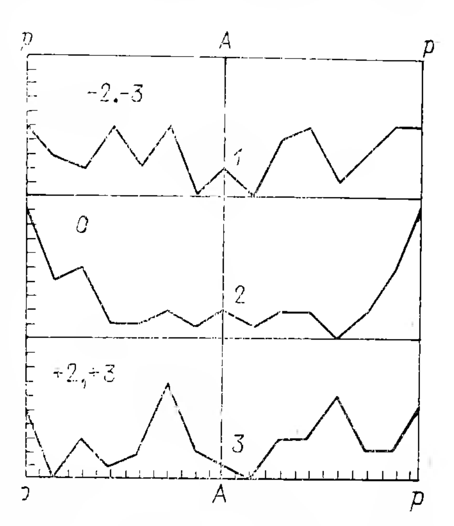


Рис. 5. Кривые зависимости числа лунных явлений от положения Луны на орбите.

1 — лунные явления, предшествующие землетрясениям в интервале от 2 до 3 дней; *2* — лунные явления, совпадающие с землетрясениями в пределах 1 дня; *3* — лунные явления, следующие за землетрясениями в интервале от 2 до 3 дней.

для соответствующих ему явлений потребовались бы те же или еще более благоприятные обстоятельства. На самом же деле эти явления происходят почти в тех же условиях, как и явления последующего максимума. Отсюда можно с уверенностью заключить, что справедливым является наше второе объяснение, т. е. что предшествующий максимум получается из-за влияния лунных процессов на состояние внешних слоев Земли. Оба максимума на основной, верхней, кривой рис. 3 почти одинаковы. Кроме того, почти одинаковы и площади, ограниченные кривой справа и слева от начала координат. Отсюда можно сделать вывод, что влияние процессов, происходящих в Луне, на Землю почти такое же, как и влияние процессов Земли на Луну.

Симметричное запаздывание на 2—3 дня во взаимном влиянии процессов Земли и Луны показывает, что связь лунных явлений с землетрясениями нельзя отнести к некоторой внешней

причине, действующей одновременно на Луну и на Землю, например активности Солнца. Кстати сказать, в распределении лунных явлений не было обнаружено влияние солнечной активности [4], в статистике же землетрясений это влияние уверенно проявляется лишь в микросейсмах. Отметим еще одно обстоятельство, заметное на графиках рис. 3 и 4. Для дат, значительно отдаленных от землетрясений, несмотря на большой разброс здесь точек, на всех трех графиках намечаются вторичные увеличения числа лунных явлений, приходящиеся на 13—14-й день до и после землетрясений. Особенно заметно это справа от начала координат, т. е. для явлений, вызванных воздействием Земли на Луну. По-видимому, эти вторичные максимумы реальны, и, вероятно, не случайно, что они отстоят от землетрясений на половину периода обращения Луны. Построенное распределение числа явлений в этих максимумах в зависимости от положения Луны на орбите не показало особенностей, которые в соответствии с рис. 2 можно было бы связать со статистическим преимуществом некоторых положений Луны. Значит, независимо от того, когда произошло лунное явление или землетрясение, через полмесяца снова наступает момент, благоприятствующий этим явлениям. Скорее всего это означает, что вторичные максимумы, как и основные, причинно связаны с землетрясениями. Природа же такого полумесячного запаздывания остается совершенно неясной. Трудно представить физические обстоятельства внутри Луны и Земли, которые могут создавать этот ритм.

Тесную связь между лунными явлениями и землетрясениями нельзя объяснить тем, что приливные взаимодействия Луны и Земли могут создать почти одновременно условия, благоприятные для этих событий. Сходство кривых рис. 2 распределения числа лунных явлений и землетрясений в зависимости от положения Луны на орбите показывает, что спусковой механизм приливного взаимодействия действительно существует. Действие этого механизма заключается в одновременном для Луны и Земли повышении вероятности событий и проявляется лишь статистически при совмещении большого числа аномалистических периодов. Череда же следующих друг за другом землетрясений совершенно не имеет семидневного ритма, который показывает статистическая кривая. Поэтому группировка лунных и земных явлений на рис. 3 не может быть следствием рис. 2 и дает новый независимый результат. Также нельзя и обратное — на основании рис. 3 объяснить сходство кривых рис. 2. Действительно, рис. 3 дает свою, но тоже только статистическую связь с двойным максимумом, растянутым почти на 5 дней. При такой дисперсии одна кривая рис. 2 не может получиться из другой с сохранением чередования максимумов и минимумов, расстояние между которыми около 3—4 дней. Следовательно, независимо друг от друга существуют оба обстоятельства: и сходство спускового механизма приливного взаимодействия Луны и Земли, и прямая связь между тектоническими процессами на этих телах. В двойной планете Земля — Луна очень отчетливо проявилась возможность той связи, признаки которой обнаруживают и системы двойных звезд [7]. Даже в далеких визуальных парах, когда исключается возможность связи через гравитационные или другие силовые поля, главная звезда оказывает своеобразное влияние на спутник. Спутник приобретает повышенную светимость, его радиус приближается к радиусу главной звезды и наблюдается выравнивание спектральных типов компонент, т. е. плотностей потоков энергии, выходящих с поверхности этих тел. Интересно, что это последнее свойство обнаруживает и система Земля — Луна. Плотность теплового потока, выходящего с поверхности Луны, по измерениям В. Д. Кротикова и В. С. Троицкого равна $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ кал/ /(см$^2 \cdot$с) [8], что почти точно совпадает с плотностью теплового потока Земли $1{,}4 \cdot 10^{-6}$ кал/(см$^2 \cdot$с). Все эти обстоятельства указывают на то, что проблема энергетики космических тел не решается термоядерными реакциями в звездах и распадом радиоактивных элементов в планетах. Это заключение нашло сейчас замечательное подтверждение в негативных результатах опытов Р. Дэвиса, не показавших ожидаемого количества нейтрино от Солнца.

Объективный анализ основных характеристик звезд: массы, светимости, радиуса — позволяет заключить, что в звездных конфигурациях отсутствуют ограничения, которые должны быть при источниках энергии, не зависимых от теплопередачи [9]. Выделение энергии и ее передача оказались в звездах единым процессом, как это бывает при остывании тел. Но звезды не остывают и тем самым не переходят в равновесное состояние с окружающим их пространством. Таким образом, свечение звезд оказывается частным случаем общего и чрезвычайно глубокого свойства Вселенной, исключающего возможность равновесных состояний, т. е. возможность тепловой смерти. Отсутствие равновесных состояний означает, что в системах Вселенной всегда существует различие между прошедшим и будущим. Такой общий принцип возможен, если само время имеет объективное, не зависящее от нашей психологии, свойство направленности, различающее прошедшее от будущего. Реальность и объективность существования таких свойств времени, как направленность, плотность, означают, что эти свойства должны проявляться в материальных системах. Время становится не просто одной из компонент четырехмерной арены, на которой разыгрываются события Вселенной, но и активным участником этих событий. Иными словами, через время может осуществляться связь между процессами, происходящими в различных удаленных друг от друга системах. Чем меньше расстояния между системами, тем заметнее должны быть их взаимодей-

ствия. Поэтому астрономический пример взаимной связанности процессов удалось найти в сходстве физических свойств компонент двойных звезд. Сейчас в системе Земля и Луна мы встретились с еще более ярким проявлением этих связей.

Рассматривая близкое по времени появление тектонических событий на Земле и на Луне как следствие физического закона связи между процессами, мы приходим к важному выводу: повышение активности одного из тел должно сопровождаться повышением активности и другого тела. Еще в 1949 г. путем морфологического анализа А. В. Хабаков нашел, что в истории развития лунной поверхности наблюдается цикличность орогенеза, напоминающая цикличность орогенеза Земли [10]. Теперь мы можем сделать еще один шаг дальше и утверждать синхронность этих циклов. Получается возможность строить хронологию тектонических процессов Луны по данным истории Земли. Последний великий горообразовательный период альпийской складчатости на Земле должен хронологически совпадать с новейшим коперниковским периодом истории Луны. Следовательно, Коперник, Тихо, Аристарх и другие кратеры с лучевыми системами возникли на Луне одновременно с Альпами, Кавказом и Гималаями приблизительно 20 млн лет тому назад. Тектонические процессы Земли и Луны связаны друг с другом в такой мере, как если бы Луна была в непосредственном контакте с Землей, т. е. была бы ее седьмым континентом. Этот контакт устанавливает непрестанно текущее время, и этим же путем Земля как более массивное тело поддерживает энергетику Луны и ее космическую жизнь.

Указатель литературы

1. Middlehurst B. M., Burley J. M., Moore P., Welther B. L. Chronological catalog of reported lunar events//NASA Technical Report. 1968. [Vol.] R-277. 55+IV p.
2. Gutenberg B., Richter C. F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton, 1949. 273+X p.
3. Green J. Lunar Defluidizaiton and Volcanism. [Downey (California)]: North American Aviation, Inc., 1964.
4. Middlehurst B. M. An analysis of lunar events//Reviews of Geophysics. 1967. Vol. 5. N 2. P. 173—189.
5. Middlehurst B., Burley J. Chronological Listing of Lunar Events. Maryland: NASA, 1966.
6. Tazieff H. Quand la Terre Tremble. Paris, 1962. 336 p.
7. Kozyrev N. A. Physical peculiarities of the components of double stars// Colloque "On the evolution of double stars", Uccle (Belgique), 29 août—2 septembre 1966: Comptes rendus/Union Astronomique Internationale (IAU). 1967. P. 197—202, 212, 252 (Communications/Observatoire Royal de Belgique; Sér. B. N 17).
8. Кротиков В. Д., Троицкий В. С. Радиоизлучение и природа Луны// Успехи физич. наук. 1963. Т. 81. Вып. 4. С. 589—639.
9.* Козырев Н. А. 1) Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43; 2) Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии// Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.
10. Хабаков. А. В. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. М., 1949. 195 с.

ПРИРОДА ЗВЕЗДНОЙ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Приводятся астрономические данные, которые едва ли возможно объяснить гипотезой термоядерного происхождения звездной энергии. Вопрос о природе звездной энергии должен решаться не априорным предположением, а прямым выводом из фактов, собранных астрономическими наблюдениями. Эти данные показывают обстоятельство фундаментального значения: светимость оказывается однозначной функцией масс и радиусов звезд, и, следовательно, выходящая из звезд энергия является функцией физических условий в некоторой области возможных состояний звезд. Приводятся характеристики этой области равновесных состояний звезд. Существование упомянутой зависимости показывает, что в звездах приход энергии автоматически совпадает с расходом. Значит, источников энергии в звездах нет, и вся их энергетика определяется только расходом. Звезда представляет собой машину, вырабатывающую энергию за счет прихода ее извне. Если время представляет собой физическое явление, то оно и может приносить энергию, поддерживающую свечение звезд. Сообщаются результаты некоторых лабораторных опытов, доказывающих возможность взаимодействия времени с веществом.

Вопрос о происхождении энергии Солнца и звезд является одним из самых глубоких вопросов естествознания. В настоящее время широко распространено убеждение в том, что вопрос этот решен гипотезой термоядерного синтеза, основой которого является сгорание водорода — слияние протонов в ядро гелия. На основе гипотезы строится представление о ходе и сроках эволюции звезд. Вместе с тем крайне сомнительно, чтобы такой глубокий и сложный вопрос могла решить априорная гипотеза, какой бы остроумной и правдоподобной она ни была. Убедительный же ответ может принести только прямой вывод из фактов, собранных астрономическими наблюдениями.

Для значительного числа звезд в результате многочисленных наблюдений не одного поколения астрономов были получены эти данные, позволившие составить представление о физических условиях в звездных недрах. Определения параллаксов, орбит компонентов двойных звезд, фотометрические и спектрофотометрические измерения дали возможность установить значение масс M, радиусов R и светимостей L приблизительно для двухсот звезд. Длительное существование звезд возможно лишь при тепловом равновесии, когда в среднем каждый грамм вещества звезды выделяет в секунду количество энергии ε, компенсирующее расход ее через излучение. Это значит, что ε можно сосчитать из условия

$$\varepsilon = L/M. \quad (1)$$

Козырев Н. А. Природа звездной энергии на основе анализа наблюдательных данных. Публикуется впервые.

С другой стороны, значения M и R позволяют рассчитать и физические условия в звезде, следовательно, найти обстоятельства, при которых происходит генерация энергии в количестве, определяемом выражением (1). Такое сопоставление может привести к заключению о природе звездной энергии совершенно объективному, без предвзятой физической идеи.

Значения M и R позволяют определить не только среднюю плотность звезды

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}, \tag{2}$$

но из условия механического равновесия и характерное для ее недр давление p:

$$p \cong g\rho R \cong \frac{3G}{4\pi}\frac{M^2}{R^4}. \tag{3}$$

За исключением белых карликов и других сверхплотных объектов состояние вещества в звездах удовлетворяет закону идеальных газов. Поэтому, разделив p на ρ, можно определить еще и характерную температуру T с точностью до среднего молекулярного веса μ:

$$T = \mu \frac{G}{R}\frac{M}{R}, \tag{4}$$

где R — постоянная Клапейрона. При полной ионизации

$$1/\mu = 2X + (3/4)Y + (1/2)Z; \quad X + Y + Z = 1, \tag{5}$$

X, Y, Z представляют собой соответственно долю содержания по массе водорода, гелия и тяжелых элементов. Обычно в звездах преобладает водород, а тяжелые элементы составляют лишь малую примесь. Поэтому $Z \cong 0, X + Y = 1$ и $1 \geqslant X > 1/2$. Отсюда согласно (5) $0{,}5 \leqslant \mu < 0{,}7$, и, следовательно, достаточно уверенная оценка температур внутри звезд (4) может быть получена без точного знания их химического состава.

Формула (4) дает для Солнца температуру порядка 10 млн град. при средней плотности (2), равной 1,4. В таких условиях должна происходить генерация энергии $\varepsilon = 1{,}9$ эрг/(г·с) (1), что по порядку величины соответствует возможности протон-протонной реакции. Подбором подходящей модели можно было надеяться объяснить этой реакцией свечение и других звезд главной последовательности. Однако уже с самого начала развития идеи термоядерных источников звездной энергии казалось странным, что у сверхгигантов, где вырабатывается особенно много энергии, вычисленные по формулам (2) и (4) средние плотности и температуры имеют наименьшие среди звезд значения. Такая же тенденция наблюдается и у звезд главной последовательности. Для этих звезд $M \sim R$. Поэтому они должны иметь одинаковые центральные температуры. Плотности же их $\rho \sim M^{-2}$ и уменьшаются при переходе к горячим звездам большой светимости. В красных сверхгигантах генерация энергии в тысячи раз превосходит солнечную. Вместе с тем их радиусы больше солнечного в тысячу раз, а массы всего лишь в десятки раз больше массы Солнца. Отсюда согласно (4) их температуры должны быть порядка сотен тысяч градусов и во всяком случае меньше одного миллиона при средней плотности около одной миллионной плотности Солнца (2). При таких условиях не может быть и речи о термоядерной генерации энергии. Эту трудность теории считается возможным обойти предположением, что сверхгиганты имеют совершенно особую структуру, что они состоят из центрального плотного и горячего ядра, окруженного оболочкой большого радиуса. Однако есть определенные данные, которые показывают, что структура сверхгигантов не отличается от структур обычных звезд.

Среди звезд высокой светимости существует ряд переменных звезд, изменение блеска которых происходит в результате их собственных колебаний. Этот ряд пульсирующих звезд начинается от горячих звезд главной последовательности короткопериодическими Цефеидами типа RR Лиры и продолжается классическими Цефеидами до поздних спектральных типов со свойствами сверхгигантов. Период собственных колебаний звезды П определяется ускорением силы тяжести и не зависит от амплитуды колебаний. Поэтому зависимость П от параметров звезды можно получить сразу же из соображений размерности $R/\Pi^2 \approx GM/R^2$, и, следовательно,

$$\Pi\sqrt{\rho} = c. \tag{6}$$

Период П будем выражать в днях, а ρ рассчитывать как среднюю плотность звезды по формуле (2). Постоянная c чувствительным образом зависит от распределения вещества в звезде, т. е. от ее структуры. Данные наблюдений позволяют сосчитать левую часть равенства (6), которая в основном зависит от принятого радиуса звезды. Ошибки же определения масс мало существенны, а радиус определяется достаточно надежно по светимости и спектру. Поэтому наблюдения дают возможность получить и хорошие оценки постоянной c.

Для разных короткопериодических звезд типа RR Лиры вычисленные по формуле (6) значения c оказываются в пределах 0,034—0,051. Практически тот же результат получается и для классических Цефеид всех спектральных типов: $0{,}036 \leqslant c \leqslant 0{,}056$. Следовательно, сверхгиганты имеют структуры, одинаковые со структурами обычных звезд. В них нет ядра или других особенностей, и физические условия внутри этих звезд могут быть рассчитаны по тем же формулам (4) и (2). Но тогда для сверхгигантов получается полная несовместимость их светимости с требованиями термоядерной генерации энергии.

13 Заказ № 23

Теоретический расчет периода свободных адиабатических колебаний гравитирующей газовой сферы показывает, что полученное значение постоянной $c=0{,}045$ соответствует сравнительно малой концентрации материи $\rho_c/\rho=20$ (ρ_c — плотность в центре звезды). Такая структура получается при большой сосредоточенности к центру источников энергии, из-за чего там возникает зона свободной конвекции. При равномерном же распределении источников энергии $\rho_c/\rho=50$, и постоянная c уменьшается до 0,030. Для звезды с ядром источники энергии должны быть расположены в наружных слоях, и значение c становится еще меньше. Наибольшее значение $c=0{,}115$ получается для звезд постоянной плотности, $\rho_c/\rho=1$, но для такой конфигурации требуется не только сосредоточенность источников к центру, но еще и сток энергии в наружных слоях, т. е. отрицательный знак ε.

В звездах главной последовательности концентрации материи едва ли больше, чем в сверхгигантах. Если же модель сверхгигантов, найденную по периоду собственных колебаний, применить к Солнцу, то в его центре получатся физические условия: $\rho_c\cong25$ и $T_c\cong\mu\cdot17\cdot10^6$ град., недостаточные даже при большом содержании гелия $Y=X$ ($\mu=0{,}7$) для необходимого выхода энергии термоядерным синтезом. Этот вывод о сравнительно малой концентрации материи внутри Солнца нашел замечательное подтверждение в негативных результатах опытов Р. Дэвиса, не показавших того потока нейтрино от Солнца, который должен был бы сопутствовать протон-протонной генерации энергии.

В настоящее время точность опытов Р. Дэвиса позволяет утверждать, что термоядерный синтез компенсирует не больше 10 % энергии, излучаемой Солнцем.

Для гипотезы термоядерных реакций сверхгиганты несут еще и другую очень большую трудность. Говоря прямо, само-существование сверхгигантов необъяснимо с этой позиции. Если рассматриваемый энергетический ресурс может обеспечить существование Солнца и звезд умеренной светимости в течение десятка и даже сотни миллиардов лет, то для сверхгигантов срок жизни получается слишком коротким — порядка десяти миллионов лет. Действительно, при расходе энергии в десятки и сотни тысяч излучений Солнца их массы, а следовательно, и запасы энергии лишь в десятки раз больше солнечных, поэтому возможность существования этих звезд и сокращается в тысячи раз. Трудно поверить, что такие огромные тела живут так мало — меньше чем Альпы, Кавказ и другие молодые горы нашей Земли. Скорее всего, этот вывод является результатом неверной посылки, что звезды могут жить только за счет расхода запасов энергии, т. е. расхода первичных элементов.

Причина, по которой гипотеза термоядерной теории звезд держалась так долго и даже держится до сих пор, заключается

в том, что по несчастной случайности реальные условия внутри звезд мало отличаются от тех, которых требует эта гипотеза. Поэтому при расчетах звездных моделей было возможно подобрать структуры и химический состав так, чтобы при данных массах и радиусах получить наблюдаемые светимости. Для отдельных звезд эти вычисления не имеют контроля. Химический состав для многих звезд можно подобрать так, чтобы

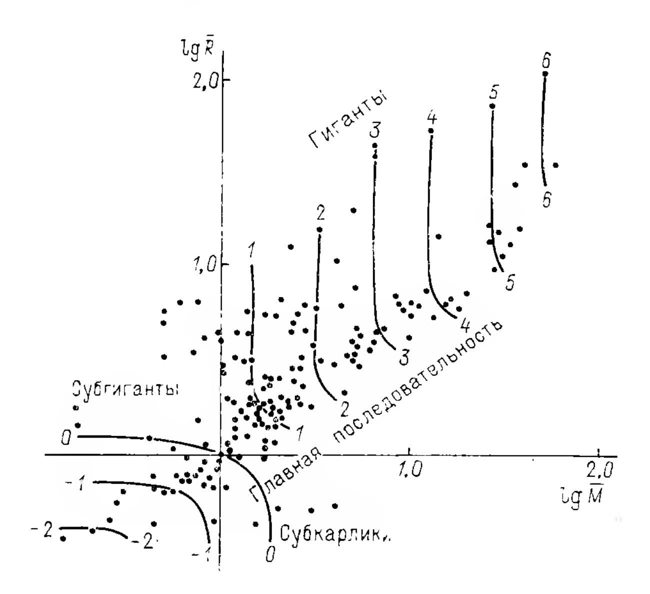


Рис. 1.

удовлетворить написанной системе уравнений независимо от того, соответствуют или нет эти уравнения действительности. Выполненные вычисления для некоторых групп звезд давали правдоподобный ход изменения химического состава, который можно было интерпретировать как эволюцию звезд внутри этих групп. Если же рассматривать не по группам, а сразу всю совокупность звезд, то спекулятивный характер расчета химического состава становится очевидным.

По осям координат на рис. 1 отложены логарифмы $\overline{M}$ — масс и $\overline{R}$ — радиусов звезд, выраженные в долях их значений для Солнца. Точками отмечены положения звезд, для которых известны эти величины. Оказалось, что если у каждой точки, изображающей звезду, написать ее светимость, то получится закономерный ход этих записей, позволяющий построить изофоты, т. е. линии одинаковой светимости. Изображенные на рис. 1 изофоты дают логарифмы светимостей $\overline{L}$, выраженные в долях светимости Солнца. Построенная система изофот воспроизводит поверхность светимости подобно тому, как на

географических картах горизонтали воспроизводят поверхность Земли. Получилась своеобразная поверхность с центром симметрии, расположенным у звезд спектрального типа F главной последовательности. Значит, светимость звезд является однозначной функцией их масс и радиусов:

$$\bar{L} = \varphi(\bar{M}, \bar{R}). \tag{7}$$

Существование зависимости (7) имеет фундаментальное значение для всей проблемы энергетики звезд.

Горячее вещество внутри звезды излучает и этим видом транспорта передает энергию наружным слоям звезды, откуда она и выходит потоком лучистой энергии общей мощностью $\bar{L}$. Таким образом, светимость звезды определяется ее внутренней температурой и условиями транспорта, т. е. коэффициентом поглощения лучистой энергии, который зависит от плотности, температуры и от химического состава звезды. Коэффициент поглощения главным образом зависит от процентного содержания в звезде тяжелых элементов: $Z=1-\bar{X}-Y$. Физические же условия в звезде по формулам (2), (4) определяются значениями M, R, μ. Поэтому должна существовать зависимость

$$\bar{L} = f_1(\bar{M}, \bar{R}, \bar{X}, Y), \tag{8}$$

определяющая светимость $\bar{L}$ возможностью выхода энергии, т. е. условием ее расхода.

При тепловом равновесии звезды источники энергии должны точно компенсировать расход. Поэтому полная их производительность равняется светимости $\bar{L}$. Производительность термоядерных реакций зависит по своим определенным законам от температуры и плотности газа, а также, разумеется, от содержания водорода X. Поскольку температура зависит от μ, то в расчет войдет и содержание гелия Y. Таким образом, светимость должна выражаться еще и второй зависимостью от тех же параметров, но совершенно другого типа:

$$\bar{L} = f_2(\bar{M}, \bar{R}, \bar{X}, Y), \tag{9}$$

которая определяет светимость условием прихода энергии.

Каждая из двух теоретических зависимостей (8) и (9) должна совпадать с зависимостью (7), полученной из наблюдений.

Из этих двух уравнений X и Y определяются как функции от M и R. Значит, для согласования термоядерной генерации энергии с наблюдениями X, Y, а следовательно, и Z должны зависеть от M и R или по формулам (2) и (4) от физических условий внутри звезд. Зависимость же содержания элементов от плотности и температуры может иметь физический смысл лишь при равновесном превращении элементов, т. е. тогда, когда могут идти процессы и противоположного направления.

Но если даже допустить такую возможность, то она может реализоваться только при температурах в миллиарды градусов, которых заведомо нет в звездах. Значит, выполняемые расчеты химического состава звезд приводят к неправильному выводу и, следовательно, представляют собой формальную операцию, с помощью которой уравнение реакций подгоняется к данным наблюдений. Поэтому основанные на гипотезе термоядерных источников энергии расчеты звездных моделей, выводы об эволюции звезд и вся огромная литература по этим вопросам оказываются не соответствующими действительности.

Существование поверхности, изображающей светимость в зависимости от масс и радиусов звезд, позволяет сделать не только отрицательные, но и положительные выводы о природе звездной энергии.

При обсуждении принципиальной стороны вопроса достаточно в соответствии со спектральными наблюдениями считать химический состав одинаковым у всех звезд. Но тогда, чтобы без параметров $\bar{X}$ и Y каждая из двух теоретических зависимостей (8) и (9) совпадала с поверхностью (7), необходимо тождественное равенство их друг другу:

$$f_1(\bar{M}, \bar{R}) \equiv f_2(\bar{M}, \bar{R}). \tag{10}$$

Это означает, что вещество звезды всегда подает энергии столько, сколько может из него выйти. Примером такого механизма является освобождение внутренней энергии тела при его остывании. Впрочем, может быть и противоположный случай, когда приход энергии определяет расход. Так будет в равновесном состоянии тела при конвективном транспорте энергии. Действительно, в этом случае конвекция всегда перенесет энергии столько, сколько ее образуется в теле. Однако в звездах при обычных условиях конвективный транспорт не играет существенной роли, потому что свободная конвекция может развиваться лишь вблизи центра и в тонком слое у поверхности звезды. Поэтому следует обратиться к первому случаю, когда расход энергии диктует ее приход.

Тождество (10) означает, что в звездах нет источников энергии. Звезды излучают так, как если бы они в соответствии с механизмом Гельмгольца — Кельвина расходовали тепловую и потенциальную энергию своих запасов. Однако эти запасы весьма ограничены. Так, например, для Солнца продолжительность жизни получается всего лишь около 30 млн лет, что решительно противоречит данным геологии и космогонии. Значит, на самом деле потеря энергии не ведет к перестройке звезды. В ней возникают процессы, компенсирующие эти потери, при которых не меняется в среднем по времени ее состояние, и звезда оказывается машиной, вырабатывающей энергию. Этот вывод неизбежно вытекает из анализа наблюдательных данных о звездах. Поэтому, несмотря на его парадоксальность,

необходимо проследить дальнейшие заключения, которые из него вытекают. Эти заключения должны опираться на закон сохранения энергии.

Отсутствие источников энергии показывает, что звезда живет не своими запасами, а за счет прихода энергии извне. Этот вывод напрашивался уже при обсуждении продолжительности жизни сверхгигантов. Ведь даже полная реализация возможностей ядерного синтеза не обеспечивает приемлемую продолжительность их существования. Звезды во Вселенной существуют всюду и входят в самые разнообразные структуры. Поэтому возможность прихода энергии должна иметь такую же общность, какую имеют только пространство и время. Пространство пассивно — оно как арена, на которой происходят события. Время же может быть не просто четвертым измерением, дополняющим трехмерное пространство, а явлением природы. Если у времени, кроме пассивного геометрического свойства длительности, измеряемой часами, есть еще и другие свойства, то они должны проявлять себя в действии времени на материальные системы. Тогда события будут происходить не только во времени, но и при его участии в них. Существование активных или физических свойств времени должно привести к взаимодействию времени и процессов, происходящих в мире. Тогда время как некоторая физическая среда может воздействовать на вещество, на ход процессов и связывать между собой явления, между которыми, казалось бы, нет и не может быть ничего общего. Одним из простейших физических свойств времени может быть направленность его хода. В точных науках направленность времени устанавливается ростом энтропии и рассматривается как свойство физических систем, а не как свойство самого времени. Естествознание же полагает, что различие будущего от прошедшего существует всегда и связано с принципиальным отличием причин от следствий. Если у времени действительно есть это физическое свойство, то при воздействии на вещество время может сообщать ему энергию и быть источником, поддерживающим жизнь звезд. Время может не только препятствовать смерти звезд, т. е. переходу их в тепловое равновесие с окружающим пространством, но и препятствовать общему наступлению тепловой смерти и быть источником жизненной силы Вселенной.

Время как физическое явление никогда не изучалось в лаборатории, вероятно потому, что не было найдено ни одного строгого опыта, подтверждающего возможность такого взгляда на время. Сейчас таким опытом оказались данные о свечении звезд. Вещество внутри звезд удивительно хорошо термостатировано. Достаточно поэтому очень малого притока энергии, чтобы поддерживать существование звезд. Шкала времени Гельмгольца — Кельвина показывает, что вещество внутри Солнца, нагретое до десяти миллионов градусов, при остывании

будет снижать температуру всего лишь на одну треть градуса в год. Поэтому в жизни звезд основную роль могут играть явления, совершенно несущественные и незаметные в лабораторных опытах. Подобным же образом в лаборатории, оторванной от Земли и находящейся в глубинах Космоса, было бы очень трудно обнаружить силы тяготения. Вместе с тем эти силы управляют движением космических тел и определяют их внутреннее состояние.

Естественно полагать, что время своими физическими свойствами поддерживает жизнь не только звезд, но и космических тел малой массы, какими являются планеты. С точки зрения полученных выводов о природе звездной энергии необходимым условием ее появления является возможность процессов, т. е. макроскопических перемещений и изменений состояния вещества внутри космического тела. Поэтому такие бесформенные камни, как метеориты и небольшие астероиды, не могут иметь собственной жизни. Жизнь начинается только при таких размерах тела, когда давление внутри него сможет раздавить кристаллическую решетку камня и станет возможной его пластическая деформация. Для этого необходимо, чтобы давление, приходящееся на одну частицу, превосходило энергию связи в кристаллической решетке. Принимая эту энергию равной 1 эВ, легко сосчитать, что необходимое для разрушения решетки давление получится внутри тела уже при радиусе в 1000 км. По-видимому, деформации возможны и в телах несколько меньшего размера. На это указывают сферические формы самых крупных астероидов: Цереры, Паллады, Юноны и Весты, радиусы которых порядка нескольких сот километров. Сферическая же форма показывает, что в теле происходили перемещения под действием силы тяжести. Поэтому сферичность фигуры может быть признаком, позволяющим думать, что даже в таких телах, как крупные астероиды, теплится собственная жизнь. Принято считать, что собственная энергия Земли поддерживается только естественной радиоактивностью тяжелых элементов, вкрапленных в горные породы наружных слоев Земли. Однако монотонный ход этих процессов ставит геологию в очень тесные рамки, внутри которых трудно найти объяснение разнообразной истории Земли с ее цикличностью и отсутствием монотонности. Теперь же мы можем считать, что противодействие росту энтропии и организацию вносит не только биосфера, но и текущее время, которое, взаимодействуя с происходящими процессами и веществом внутри Земли, является другим, очень важным источником ее энергии.

По-видимому, возможности получения энергии из времени благоприятствуют некоторые особые состояния вещества, отвечающие на плоскости $\overline{M}$, $\overline{R}$ (рис. 1) зонам наибольшей заполненности звездами. Чтобы выяснить эти благоприятствующие обстоятельства, необходимо перейти от аргументов $\lg \overline{M}$, $\lg \overline{R}$

к характеристикам физических условий, за которые можно принять плотность газа $\bar{\rho}$ и плотность лучистой энергии $\bar{B}$, выраженные в долях их значений для Солнца. При одинаковом химическом составе и одинаковых структурах звезд согласно (2) и (3) получаются следующие простые выражения:

$$\bar{\rho}=\overline{M}/\overline{R}^3;\quad \overline{B}=\overline{T}^4=\overline{M}^4/\overline{R}^4. \tag{11}$$

Эти новые аргументы $\lg\bar{\rho}$, $\lg\overline{B}$ были сосчитаны для всех звезд рис. 1, и соответствующее им распределение звезд представлено на рис. 2. Для каждой звезды написан логарифм средней производительности энергии $\bar{\varepsilon}$, взятой по отношению к ее значению для Солнца:

$$\bar{\varepsilon}=\overline{L}/\overline{M}. \tag{12}$$

Точка этой записи и отмечает положение звезды на рисунке. Регулярный ход записей позволяет построить систему изображенных на рис. 2 изоэрг — линий одинаковой производительности энергии. Это построение вновь подтверждает, что не существует линии пересечения поверхностей притока и расхода энергии. Следовательно, эти поверхности совпадают. Пунктиром показана кривая, по которой должны были бы располагаться звезды при образовании энергии протон-протонной реакцией. При расчете этой кривой температура в центре Солнца была принята равной $6\cdot10^6$ град. Но если даже допустить, что кривая проходит через начало координат, т. е. что условия внутри Солнца достаточны для пополнения расхода энергии протон-протонной реакцией, то и тогда распределение звезд будет в решительном противоречии с этой кривой.

Деформация масштабов, которая преобразует плоскость рис. 1 к плоскости физических условий, приводит к весьма необычному распределению звезд. Размытая и очень нечеткая на диаграмме Рессела — Герцшпрунга область гигантов и сверхгигантов превратилась в узкую зону основного направления, по которому располагаются звезды в огромном диапазоне состояний от холодных и разреженных красных сверхгигантов до плотных и горячих субкарликов типа А. Чтобы подчеркнуть существенность этого направления, на рис. 2 штриховой полоской нанесено положение гигантов, массы которых оценены по косвенным признакам. Это направление идет под углом 45°:

$$\lg\overline{B}=\lg\bar{\rho}+0{,}58 \ \text{ и, значит, } \ B/\rho=3{,}8\,(B/\rho)_{\odot}. \tag{13}$$

Вторую особенность диаграммы обусловливают главная последовательность и близлежащие к ней звезды. Они создают круговой разброс точек с центром симметрии, лежащем на основном направлении при $\lg\overline{B}=0$ и, следовательно, когда $\lg\bar{\rho}=$ $=-0{,}58$. Здесь, очевидно, существуют особо благоприятные

условия для воздействия времени на вещество звезды, и поэтому возможны значительные отклонения от основного направления. Равноправность $\lg\overline{B}$ и $\lg\bar{\rho}$, входящих в условие (13) основного направления, приводит к одинаковой дисперсии по

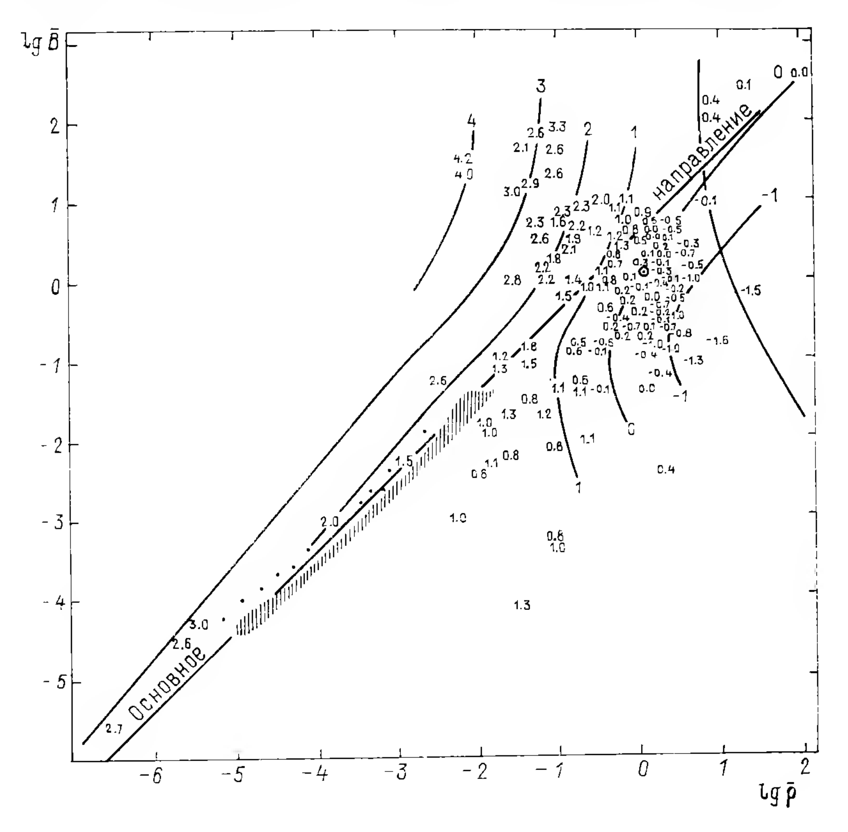


Рис. 2.

этим двум координатам, из-за чего и получается круговая форма кривых равной вероятности:

$$(\Delta\lg\overline{B})^2+(\Delta\lg\bar{\rho})^2=c^2. \tag{14}$$

Чрезвычайно интересно сосчитать, какой вид будет иметь уравнение окружности (14) на диаграмме Рессела — Герцшпрунга с координатами m_b — болометрическая звездная величина — и $x=10\lg T_{ef}$, T_{ef} — наблюдаемая эффективная температура звезды. Для этого надо воспользоваться выражениями (11) и от масс $\overline{M}$ перейти к светимостям $\overline{L}$. Для звезд главной последовательности в соответствии с рис. 1 можно принять $\overline{L}\sim\overline{M}^{3,7}$. Выполненный расчет показывает, что на диаграмме Рессела —

Герцшпрунга окружность (14) превращается в вытянутый эллипс с отношением осей $a/b=8{,}3$, большая ось которого наклонена под углом 60° к оси x в замечательном соответствии с наклоном главной последовательности, равным 58°. Таким образом, главная последовательность получается в результате вытягивания масштабов, которыми пользуется наблюдательная астрофизика, и в ее направленности сказывается в первую очередь это обстоятельство, а не особенности строения звезд.

Интересно теперь найти абсолютные значения постоянных, характеризующих основное направление и центр дисперсии. Оказывается, что эти две особенности диаграммы могут быть определены только одной постоянной. Примем для звезд и Солнца структуры, полученные из расчета собственных колебаний Цефеид. Тогда при сильном преобладании водорода ($\mu=0{,}5$) в центральной области Солнца $T=8{,}5\cdot 10^6$ град., $B=\alpha T^4=$ $=3{,}9\cdot 10^{13}$ и $\rho=25$. Переходя от плотности к числу электронов в кубическом сантиметре n_e, получим согласно (13) условие, которому удовлетворяет состояние вещества звезд основного направления:

$$B/n_e = 9{,}4\cdot 10^{-12}\ \text{эрг} = 6\ \text{эВ}. \tag{15}$$

Для центра дисперсии $T=T_\odot$ и $\rho=6{,}5$, поэтому он определяется еще дополнительным условием, при котором

$$U/n_e = 3{,}2\cdot 10^{-11}\ \text{эрг} = 20\ \text{эВ}, \tag{16}$$

где U — плотность энергии электростатического взаимодействия частиц, рассчитанная согласно теории Дебая — Хюккля:

$$U=\left(\frac{8\pi e^6 n_e}{kT}\right)^{1/2}. \tag{17}$$

В пределах возможной неточности определения физических условий внутри звезд найденные значения (15) и (16) можно считать одинаковыми и близкими к энергии ионизации атома водорода: $X=13{,}5$ эВ$=m_e c_2^2/2$, где c_2 представляет собой величину, имеющую размерность скорости. Поэтому условия, благоприятные для взаимодействия времени с веществом, могут быть представлены выражениями, в которых, вероятно, заключается глубокий физический смысл:

$$B/n_e = m_e c_2^2/2;\quad U/n_e = m_e c_2^2/2;\quad c_2 = e^2/h. \tag{18}$$

Если эти условия действительно связаны с ходом времени, то в них должны содержаться не только характеристики состояний вещества, но и времени. Постоянная c_2 является единственной постоянной, входящей в оба выражения (18) и не связанной со свойствами материи, но связывающей пространство и время. Поэтому весьма вероятно, что постоянная c_2 характеризует ход времени нашего Мира. С совершенно другой стороны, из лабораторных опытов над вращающимися гироскопами в причинных связях удалось определить величину хода времени, оказавшейся близкой к c_2, и подтвердить этим прогноз, сделанный на основе анализа условий внутри звезд.

Линии одинаковой производительности энергии (рис. 2) и линии одинаковой светимости (рис. 1) образуют симметричные системы с двумя ветвями, как у гиперболы. Хотя обе эти системы линий связаны преобразованиями (11) и (12), на рис. 1 и 2 из-за возможной статистической неопределенности они построены независимо друг от друга. Достаточно хорошее согласие с упомянутым преобразованием говорит о реальности построенных изолиний. Более простую картину дает система линий одинаковой светимости на рис. 1, поскольку их асимптоты параллельны осям координат. При асимптотическом удалении от вершин получаются две закономерности: $L\sim M^3$ и $L\sim R^3$. Вершинам же кривых должно соответствовать направление, удовлетворяющее этим обоим условиям, для которого, следовательно, $M\sim R$. Здесь располагаются звезды главной последовательности, и они приблизительно следуют этому направлению.

Асимптотическое соотношение $L\sim M^3$ можно непосредственно получить из условия лучевого транспорта энергии. Действительно, в этом случае для потока энергии получается выражение

$$\varepsilon = -\frac{c}{\varkappa\rho}\frac{dB}{dr} \cong \frac{c}{\varkappa\rho}\frac{B}{R} \sim \frac{\mu^4}{\varkappa}\frac{M^3}{R^2}. \tag{19}$$

Следовательно,

$$L \sim \frac{\mu^4}{\varkappa} M^3, \tag{20}$$

и при постоянном коэффициенте поглощения $\varkappa$, рассчитанном на единицу массы, $L\sim M^3$.

Второе асимптотическое соотношение $L\sim R^3$ едва ли можно объяснить условием транспорта энергии, даже при каком-то особом состоянии вещества внутри звезды. Скорее всего, оно соответствует тому случаю, когда светимость определяется не условиями транспорта, а условиями генерации энергии. С нашей позиции это будет происходить при таких обстоятельствах, когда возможно непосредственное и интенсивное воздействие времени на вещество. Поскольку время заполняет все пространство и входит в него независимо от направлений, то при этих обстоятельствах оно сможет сообщать энергию пропорционально объему, который занимает вещество. Следовательно, светимость может оказаться пропорциональной объему звезды, и, значит, $\varepsilon\sim 1/\rho$. Транспорт этой энергии к наружным слоям звезды может осуществляться конвекцией, если она окажется

возможной при этих необычных обстоятельствах, или же через свойства времени, устанавливающие взаимосвязь процессов и состояний веществ в различных слоях звезды. При такой трактовке хода изофот следует ожидать, что время играет очень важную роль в звездах, расположенных на рис. 1 в той его части, где изофоты имеют тенденцию идти параллельно оси абсцисс. Такие звезды могут выделять не только лучистую энергию, но и время. Наши длительные лабораторные исследования физических свойств времени привели к этой возможности наблюдать звезды через воздействие их на время. Уже первые опыты показали, что особенно сильно взаимодействуют со временем белые карлики и источник рентгеновского излучения Cyg X — 1, вероятно, из-за связи его с черной дырой. Обычные же звезды, для которых в основном $L \sim M^3$, не показали особенностей в свойствах времени. Среди наблюдавшихся звезд обычного типа только η Cas обнаружила значительный эффект времени, вероятно, потому, что один из компонентов этой двойной системы располагается вблизи изофоты 1, там, где эта изофота идет параллельно оси абсцисс и где, следовательно, $L \sim R^3$. Некоторое, но вполне определенное взаимодействие со временем показали Солнце, Луна и планеты.

Эти наблюдения только начаты, и результаты их совершенно предварительны. Но они открывают перспективу нового и глубокого проникновения в свойства звездного мира. Время не распространяется, а появляется сразу во всей Вселенной, поэтому связь через время должна быть мгновенной и явления на самых далеких объектах могут изучаться без запаздывания, одновременно с нашими наблюдениями. Эта перспектива не противоречит специальной теории относительности, потому что при мгновенной связи через время ничто не движется и нет никаких материальных перемещений. Время несет в себе целый мир новых неизвестных явлений, поэтому, несмотря на большое значение и интерес астрономических наблюдений, главной задачей сейчас остается разностороннее изучение его свойств в физической лаборатории.

Часть 2
НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТЬ КОРПУСКУЛЯРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА

Количественное исследование люминесценции лунной поверхности осуществлено сравнением контуров широких фраунгоферовых линий спектров лунных деталей с контурами этих линий в солнечном спектре. Удалось установить и измерить люминесцентное свечение системы Аристарх—Геродот. Люминесцентные свойства оказались связанными с белым веществом лучевых систем лунной поверхности. Другие обследованные детали лунной поверхности люминесценции не показали. Эти измерения вместе с измерениями спектральной отражательной способности кратера Аристарх позволили найти кривую люминесценции в зависимости от длины волны. По-видимому, существует две полосы: более яркая ультрафиолетовая с максимумом около 3900 Å и синяя, определенная менее уверенно с максимумом около 4300 Å. Люминесценция кратера Аристарх сильнее после полнолуния. 4 октября 1955 г. наблюдалась особенно сильная люминесценция, превышавшая нормальную в четыре раза. Повышение люминесценции объяснено действием корпускулярного потока Солнца на поверхность кратера. Отсюда определена концентрация протонов в потоке вблизи Луны, оказавшаяся равной $5 \cdot 10^3$ частиц в 1 см^3. Эти наблюдения и отсутствие свечения на темной стороне лунного диска показывают, что на Луне нет магнитного поля. Высказаны соображения о природе лучевых систем.

Сумеречные явления на Луне не были обнаружены даже при очень тонких исследованиях. Лио и Дольфус своими наблюдениями на коронографе далеко отодвинули верхнюю границу возможной атмосферы Луны, оценив ее в $3 \cdot 10^{-8}$ атмосферы Земли [1]. Однако эта верхняя граница не исключает возможности существования на Луне ионосферы и связанных с нею явлений, например свечения ночного неба Луны. С этой точки зрения представляет интерес изучение спектра темного края лунного диска вблизи новолуния.

На 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории перед новолунием в октябре 1955 г. нами были получены такого рода

Козырев Н. А. Люминесценция лунной поверхности и интенсивность корпускулярного излучения Солнца//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1956. Т. 16. С. 148—158.

спектрограммы при перпендикулярном расположении щели спектрографа к краю диска. Спектрограммы получены камерой со светосилой 1 : 4 при экспозиции около часа. Так как яркость свечения атмосферы Луны около края должна быть в несколько десятков раз больше, чем над диском, то свечение неба Луны, близкое по яркости к свечению неба Земли, должно было быть заметным на наших снимках. На снимках совершенно отчетливо отделяется спектр пепельного света от более слабого спектра фона неба, но никаких особенностей в спектре неба около края Луны обнаружить не удалось.

Таким образом, на Луне практически отсутствует и ионосфера. Жесткая радиация Солнца должна непосредственно падать на поверхность Луны и вызывать люминесценцию минералов, слагающих ее поверхность. На Земле корпускулярное излучение Солнца вызывает полярные сияния — катодолюминесценцию ионосферы. На Луне полярные сияния должны разыгрываться прямо на поверхности планеты. При низких температурах ночной стороны Луны, порядка —160°, многие минералы становятся люминофорами с заметным коэффициентом энергетической отдачи. Поэтому на фоне пепельного света полярные сияния поверхности Луны должны были бы наблюдаться совершенно отчетливо. Подобные явления никогда на Луне не наблюдались; отсюда следует определенное заключение об отсутствии магнитного поля Луны. При отсутствии магнитного поля корпускулярное излучение Солнца должно падать на поверхность Луны вместе с фотонами по тем же геометрическим законам. Следовательно, люминесценция Луны может наблюдаться только на стороне, освещенной Солнцем.

Линк [2] впервые обнаружил следующие признаки люминесценции лунной поверхности: 1) бóльшие относительные яркости некоторых деталей поверхности Луны во время ее затмения, чем это следует из фотометрических измерений этих деталей при солнечном освещении, что объясняется люминесцентным послесвечением значительной продолжительности; 2) корреляция яркости Луны с возможными колебаниями солнечной постоянной. Колебания яркости Луны могут быть значительными вследствие изменений жесткой радиации Солнца, которая посредством люминесцентного свечения добавляется к отраженному Луной солнечному свету видимой области спектра. Эти признаки — косвенные, и поэтому крайне желательны прямые спектрофотометрические доказательства люминесценции поверхности Луны.

Фотометрическое сравнение непрерывного спектра лунной поверхности со спектром Солнца может определенно показать люминесценцию лишь тогда, когда накладывающийся спектр люминесценции содержит отдельные узкие линии. Обычно же спектр люминесценции минералов состоит из широких полос, наложение которых на отраженный солнечный спектр нельзя

с уверенностью отличить от особенностей спектральной кривой отражения лунной поверхности. Однако с полной определенностью, допускающей точные измерения, люминесценция может быть обнаружена из сравнения контуров фраунгоферовых линий в спектрах Луны и Солнца. Действительно, обозначим через $I_{\odot}$ интенсивность солнечного спектра внутри фраунгоферовой линии по отношению к непрерывному спектру. Очевидно, что при отсутствии люминесценции контур линии в спектре Луны измениться не может и по спектру Луны должны получаться те же значения $I_{\odot}$. Допустим, что существует люминесценция яркости x по отношению к непрерывному спектру отраженного Луной света. Яркость x будем считать постоянной для всей фраунгоферовой линии. Чтобы получить контур линии в спектре Луны $I_{☾}$, мы должны прибавить к $I_{\odot}$ люминесцентное свечение x:

$$I_{☾} = (I_{\odot} + x)k,$$

где k — некоторый коэффициент пропорциональности, величина которого определяется условием интенсивностей в непрерывном спектре: $I_{☾} = I_{\odot} = 1$. Таким образом,

$$I_{☾} = \frac{I_{\odot} + x}{1 + x}. \quad (1)$$

Отсюда получается возможность определения x сравнением контуров линий в лунном и солнечном спектре:

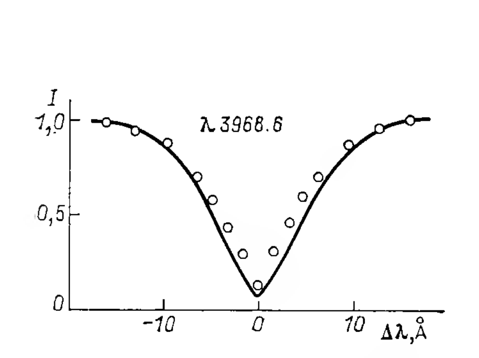
$$x = \frac{I_{☾} - I_{\odot}}{1 - I_{☾}}. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что различие яркостей соответствующих точек контура линии лунного и солнечного спектров $(I_{☾} - I_{\odot})$ пропорционально $(1 - I_{☾})$. Следовательно, наибольшее различие контуров должно наблюдаться в центре линии и наименьшее в крыльях. Остаточная интенсивность линии из-за люминесценции будет большей, а полуширина — меньшей, и в результате линия будет казаться более узкой, чем в солнечном спектре. При умеренной дисперсии во избежание инструментальных и фотометрических ошибок следует ограничиться исследованием контуров только особо широких фраунгоферовых линий. С другой стороны, при той же яркости люминесцентного свечения величина x должна быть больше в фиолетовой части спектра, где происходит значительное уменьшение яркости солнечного спектра и отражательной способности лунной поверхности. Поэтому поиски люминесцентного свечения естественно начать с исследования контуров линий H и K ионизованного кальция.

Спектрограммы различных участков лунной поверхности были получены нами осенью 1955 г. на 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории спектрографом с большой камерой,

дающей линейную дисперсию около 15 Å/мм близ дублета H и K. При ширине щели 0,05 мм на пластинках Ильфорд Гиперпанхроматик-3 экспозиции были порядка 2—10 мин для видимого участка спектра и 30—40 мин для получения контуров H и K. По возможности в дни наблюдений с той же аппаратурой и на тех же пластинках снимался для сравнения спектр Солнца. При наблюдениях Солнца большое зеркало рефлектора закрывалось диафрагмой с 20 отверстиями диаметром 4 мм, расположенными равномерно по поверхности зеркала. Снимки Солнца получались с различными экспозициями от 0,2 до 10 с, а фотометрическая шкала (ступенчатая щель) — с экспозицией около 5—10 мин. Имея набор этих солнечных спектров, можно было на глаз сравнивать вид линий в спектрах Луны и Солнца при одинаковых плотностях непрерывного спектра. Такая возможность очень облегчала поиски люминесцирующих областей лунной поверхности. Были исследованы поверхности лунных морей (Море Ясности и Море Дождей), гористая часть центральной области Луны, дно некоторых кратеров (Платон, Шиккард, Коперник) и пятно Вуда. Эти исследования дали отрицательный результат — контуры линий H и K оказались одинаковыми с солнечным спектром. Только кратер Аристарх с прилегающим к нему Геродотом, взятый как образец лучевой системы, показал, несомненно, другой контур этих линий. В спектре Аристарха центральная часть линий H и K выглядит значительно у́же, чем в солнечном спектре.

Кратер Аристарх расположен в восточной части лунного диска и имеет следующие селенографические координаты: $\varphi=+23°,0$, $\lambda=-47°,1$. Угол отражения ε, т. е. угол между лучом зрения и нормалью к поверхности кратера, приблизительно равен 46°. Лучевая система кратеров Аристарх — Геродот представляет собой сплошной светлый ореол без отдельных длинных лучей, и поэтому очень удобна для спектральных исследований. Фиг. 1 дает сравнение контуров линии H (3968.6 Å) Ca^+ спектров Аристарха 4 октября 1955 г. и Солнца. Для уменьшения ошибок характеристической кривой эти контуры были получены по негативам с одинаковой плотностью непрерывного спектра. Построенный контур в солнечном спектре оказался хорошо согласованным с контуром этой линии по фотометрическому атласу Миннаэрта. Полученное большое различие контуров линии в спектрах Аристарха и Солнца иллюстрирует фиг. 2, на которой по оси абсцисс отложены интенсивности линии в солнечном спектре $I_{\odot}$, а по оси ординат — интенсивности в спектре Аристарха $I_{☾}$ на тех же расстояниях от центра линии. В случае люминесценции согласно формуле (1) должна получаться линейная зависимость $I_{☾}$ от $I_{\odot}$. Эта прямая должна отсекать на оси ординат ($I_{\odot}=0$) отрезок $I_{☾}=\frac{x}{1+x}$. Таким образом, по этому графику можно сразу найти процент люминесценции по отношению к интенсивности непрерывного спектра, отраженного Аристархом: получается $x=13\,\%$. Точки на фиг. 2 достаточно хорошо ложатся на прямую, за исключением точки, ближайшей к началу координат, представляющей остаточную интенсивность линии H. Существенно, что при измерении дру-



Фиг. 1. Сравнение контуров линии H (3968.6 Å) в спектрах кратера Аристарх 4 октября 1955 г. (в кружках) и Солнца (сплошная линия).

Фиг. 2. Сравнение интенсивностей линии H (3968.6 Å) в спектрах кратера Аристарх 4 октября 1955 г. — $I_{☾}$ и Солнца — $I_{\odot}$.

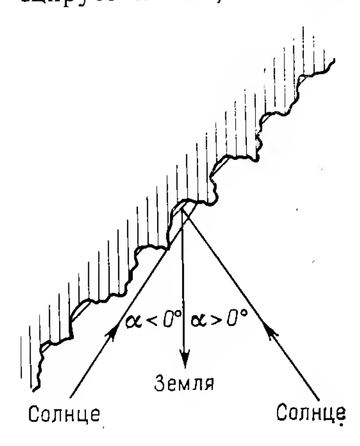
гих контуров получается то же самое: люминесценция повышает остаточную интенсивность глубокой линии значительно меньше, чем это следует по другим точкам того же контура. Очевидно, что причиной этого является некоторая систематическая ошибка, связанная, скорее всего, с эффектом Эберхарда. Действительно, на пластинке плотность фона вблизи сильного почернения всегда меньше нормального значения. Благодаря люминесценции контур линии суживается (фиг. 1), и этот эффект должен проявиться с большей силой, чем в солнечном спектре. В результате плотность в центре линии будет увеличена люминесценцией меньше, чем следует.

Результаты измерений люминесценции кратера Аристарха в различные дни приведены в таблице. В ней α — угол фазы

1955 г. (мировое время)	α, град	i, град	x_H, %	x_K, %	x_K/x_H
28.IX, 18^h0^m	—38,5	88	0,0	0,0	—
28.X, 18 30	—35,6	85	2,2±0,2	3,3±0,5	1,5
4.X, 22 00	+41,4	23	13±1	19±1	1,5
4.XI, 22 00	+63,8	31	3,0±0,3	4,2±0,3	1,4

Луны, положительный после полнолуния, i — угол падения солнечных лучей, или зенитное расстояние Солнца для Аристарха в момент наблюдений, $x_{\text{Н}}$ — процент люминесценции, измеренный по контуру линии H (3968.6 Å), $x_{\text{К}}$ — по контуру линии K (3933.8 Å), и их отношение.

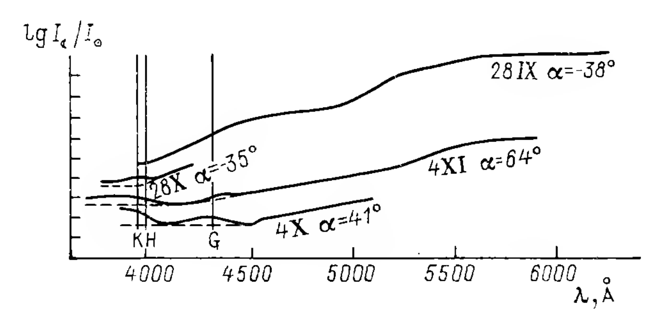
Таблица показывает, что до полнолуния Аристарх люминесцирует слабее, чем после полнолуния, когда $\alpha > 0°$. 28 сентября Аристарх находился вблизи терминатора, по цвету не отличаясь от соседних участков лунной поверхности, и признаков люминесценции обнаружено не было. При несколько большей фазе 28 октября появилась белая окраска, характерная для лучевых систем, и вместе с ней люминесценция кратера. По-видимому, люминофором является светлое вещество лучевых систем, расположенное на дне мелких неровностей кратера. На фиг. 3 изображена вероятная схема расположения светлого вещества лучей по отношению к лучу зрения и направлению падения солнечных лучей. Из этой схемы видно, что вблизи терминатора микрорельеф поверхности должен закрывать люминесцирующее вещество и что дни после полнолуния должны быть наиболее благоприятными для наблюдений люминесценции, так как лучи Солнца падают почти отвесно к поверхности кратера. Другое интересное обстоятельство заключается в том, что люминесценция, определенная по линии K, получается в полтора раза больше, чем по линии H. Очевидно, дублет H и K находится на границе полосы люминесценции, интенсивность которой увеличивается в ультрафиолетовую сторону спектра. Теперь, зная интенсивность люминесценции для длин волн H и K, можно пытаться по распределению энергии в непрерывном спектре Аристарха найти полный контур полосы люминесценции.



Фиг. 3. Схема освещения поверхности кратера Аристарх до и после полнолуния.

Штриховкой показаны обычные породы лунной поверхности. Отсутствие штриховки указывает люминесцирующее вещество.

На фиг. 4 изображены результаты измерений распределения энергии в спектре Аристарха по отношению к спектру Солнца. По оси ординат отложен логарифм отношения яркости в спектре Аристарха к яркости спектра Солнца для тех же длин волн. Построенные кривые представляют спектральную отражательную способность Аристарха для двух наблюдений до полнолуния и двух после. Нуль-пункт этих кривых по вертикали совершенно произволен. Самая верхняя кривая дает относительное распределение в спектре Аристарха вблизи терминатора, когда лучевая система не была видна. Нижние кривые показывают более белое, т. е. нейтральное, отражение лучевым ореолом и соответствуют наблюдениям после полнолуния. Данные таблицы позволяют отметить (крестики на фиг. 4)



Фиг. 4. Кривые спектральной отражательной способности кратера Аристарх: $\lg(I_{\alpha}/I_{\odot})$.

Одно деление вертикальной оси равняется одной десятой десятичного логарифма отношения яркости в спектре кратера к яркости в спектре Солнца. Нуль-пункт кривых произволен.

интенсивность непрерывного спектра отраженного Луной света без люминесценции для длин волн H и K. По этим крестикам можно наметить (пунктирная линия) вероятный ход спектральной кривой без люминесценции. В результате получается возможность найти x как функцию длины волны. Весьма вероятно, что подъем кривых около полосы G (4308 Å) также обусловливается люминесценцией. Вследствие малой глубины полосы G трудно сделать по ее контуру уверенное определение x. Все же можно заметить, что глубина полосы G в спектре Аристарха меньше, чем в солнечном спектре. Это обстоятельство подтверждает реальность второй, синей полосы люминесценции с максимумом около 4300 Å. Постараемся теперь от относительных значений $x(\lambda)$, характеризующих люминесценцию, перейти к абсолютным энергетическим значениям.

Обозначим через L_λ абсолютное значение интенсивности люминесцентного свечения, а через B_λ — интенсивность света, отраженного от поверхности Луны при фазовом угле наблюдений. Тогда

$$L_\lambda = x(\lambda) B_\lambda. \tag{3}$$

Под отражательной способностью лунной поверхности будем подразумевать выражение

$$A_\lambda = \frac{\pi B_\lambda}{S_\lambda}, \tag{4}$$

где S_λ — интенсивность солнечной радиации на расстоянии Луны от Солнца, которая может быть выражена через среднюю интенсивность излучения солнечной поверхности F_λ:

$$S_\lambda = 2{,}16 \cdot 10^{-5} \pi F_\lambda. \qquad (5)$$

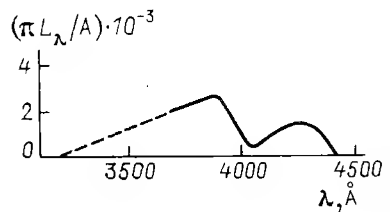
Для полной энергии люминесцентного свечения с единицы площади в секунду в единичном интервале длин волн получается выражение

$$\pi L_\lambda = A(\lambda)\, x(\lambda) \cdot 2{,}16 \cdot 10^{-5} \pi F_\lambda.$$

Пользуясь значениями F_λ по измерениям Аббота, обработанным Миннаэртом [3], можно вычислить величину

$$\pi L_\lambda / A_\lambda = x(\lambda) \cdot 2{,}16 \cdot 10^{-5} \pi F_\lambda. \qquad (6)$$

Результаты этих вычислений, выполненных для случая наибольшей люминесценции (4 октября; нижняя кривая фиг. 4),



Фиг. 5. Спектральная кривая люминесцентного свечения кратера Аристарх 4 октября 1955 г.

представлены на фиг. 5. Как видно из фиг. 4, отражательная способность $A(\lambda)$ для этой фазы в интересующем нас участке спектра не зависит от длины волны: $A(\lambda) = A = \text{const}$. Таким образом, кривая фиг. 5 воспроизводит интенсивность люминесценции как функцию длины волны. Пунктиром показана вероятная экстраполяция этой кривой для коротковолновой части спектра. Значения πL_λ (фиг. 5) отнесены к интервалу длин волн, равному 100 Å, т. е. единице горизонтального масштаба. Таким образом, для вычисления полной энергии люминесценции достаточно определить площадь этой кривой и умножить ее на 10^3. Получается

$$\int_0^\infty \pi L_\lambda \, d\lambda = 1{,}6 \cdot 10^4 \cdot A \text{ эрг/(см}^2 \cdot \text{с)}. \qquad (7)$$

Энергию жесткой радиации Солнца E, которая вызвала люминесценцию кратера Аристарх 4 октября 1955 г., можно определить из выражения (7), вводя коэффициент энергетического выхода люминесценции Q нашего вещества. Обозначим через n долю площади, которую занимает светлое люминесцирующее вещество на видимой поверхности кратера. Тогда

$$E = \frac{A}{nQ} \cdot 1{,}6 \cdot 10^4 \text{ эрг/(см}^2 \cdot \text{с)}. \qquad (8)$$

Таким образом, энергия, возбуждающая люминесценцию, получается весьма значительной, порядка процента солнечной постоянной ($S = 1{,}32 \cdot 10^6$).

Данные таблицы показывают, что 4 октября наблюдалась аномально большая люминесценция. Действительно, через месяц (4 ноября) при сходных условиях, т. е. близких значениях α и i, люминесценция оказалась в четыре раза слабее. Скорее всего, эта люминесценция нормальная, поскольку она согласуется с предыдущими наблюдениями 28 октября. Можно считать, что нормальная люминесценция существует постоянно и возбуждается энергией в четыре раза меньше, чем приведенное значение (8). Возбудителем этой люминесценции может быть близкое ультрафиолетовое излучение Солнца: $\lambda < 3000$ Å. Однако это ультрафиолетовое излучение Солнца соответствует температуре обращающего слоя (4800°) и не может испытывать заметных колебаний. Поэтому аномальная вспышка люминесценции должна вызываться другим агентом.

Источником жестких ультрафиолетовых и рентгеновских лучей Солнца является солнечная корона. Поток этого излучения в основном зависит от концентрации электронного газа в короне и может быть поэтому вычислен с достаточной уверенностью. Как показывают исследования И. С. Шкловского, этот поток на расстоянии Земли составляет лишь доли эрга [4] и совершенно недостаточен для возбуждения люминесценции. Ультрафиолетовое излучение хромосферы в линиях должно быть значительно больше, но и оно недостаточно для объяснения наблюдаемой люминесценции. Остается считать, что люминесценция возбуждается корпускулярным потоком Солнца. Подсчитаем число частиц — протонов n_p на 1 см³ в корпускулярном потоке. Поток частиц переносит энергию

$$E = \frac{m_p v^2}{2} n_p v, \qquad (9)$$

где $v = 1500$ км/с и $m_p = 1{,}7 \cdot 10^{-24}$ г. Сравнивая выражения (8) и (9), находим

$$n_p = \frac{3{,}2 \cdot 10^4}{m_p v^3} \frac{A}{nQ} = \frac{A}{nQ} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}. \qquad (10)$$

Абсолютное значение отражательной способности Аристарха, определяемое выражением (4), было получено А. В. Марковым [5] для визуальной области спектра ($\lambda = 5500$ Å): вблизи полнолуния $A_v = 0{,}20$. При фазовом угле около 40—50° это значение должно быть уменьшено вдвое. Из кривых на фиг. 4 видно, что отражательная способность поверхности Аристарха в ультрафиолетовой части спектра должна быть еще в два раза меньше. Получается $A = 0{,}05$. Значительно труднее оценить значение коэффициента полезного действия Q. Для фотолюмине-

сценции обычно Q велико и может приближаться к единице. В нашем случае, аналогичном катодолюминесценции, Q должно быть значительно меньше. Люминесцирующее вещество кратера Аристарха существенно светлее других пород лунной поверхности. Поэтому даже при отвесном падении солнечных лучей оно едва ли нагревается до положительных температур. Это обстоятельство способствует повышению Q. Поэтому можно принять $Q \approx 0{,}1$. Считая далее n порядка 1/2, находим $A/nQ \approx \approx 1$. Следовательно,

$$n_p \approx 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}. \tag{11}$$

Наша оценка плотности корпускулярного выброса Солнца находится в соответствии с оценками других авторов, полученными совершенно иными методами. Так, еще в 1929 г. Чепмен и Ферраро [6] нашли, что умеренную магнитную бурю создает корпускулярный поток с плотностью $n \sim 10^3$ см$^{-3}$. С. К. Всехсвятский, считая корональные лучи корпускулярными потоками Солнца, получает для плотности потоков то же значение порядка 10^3 см$^{-3}$ [7].

Окончательное доказательство правильности объяснения люминесценции Луны корпускулярным излучением Солнца должно быть получено из сопоставления интенсивности люминесценции с интенсивностью полярных сияний и магнитных бурь на Земле. Нам представляется, что систематическое наблюдение люминесценции кратера Аристарха и других подобных образований лунной поверхности может дать много ценных сведений о корпускулярном излучении Солнца. Поверхность кратера Аристарха представляет собой естественный люминесцирующий экран, вынесенный за пределы земной атмосферы и совершенно свободный от действия магнитного поля. Большая ширина (свыше 10 Å) линий H и K может позволить вести систематические наблюдения над люминесценцией весьма умеренными средствами. Представляется легко осуществимым и прибор, ведущий систематическую запись интенсивности люминесценции.

Следует сказать несколько слов о возможной природе люминесцирующего вещества Аристарха. К сожалению, распределение энергии в спектре люминесценции (фиг. 5) не может привести к однозначному определению люминофора. Дело в том, что ничтожные минеральные примеси могут значительно менять вид этой кривой энергии. С определенностью можно сказать только то, что это вещество не содержит даже ничтожных примесей железа, поскольку железо — очень активный тушитель люминесценции. По-видимому, на Луне люминесцирует светлое вещество лучевых систем, заполняющее углубления и трещины около кратеров, являющихся согласно А. В. Хабакову [8] самыми молодыми формациями лунной поверхности. Это вещество должно быть почти белым со значительным альбедо. Поскольку для Аристарха среднее альбедо в полнолуние $A_v = 0{,}20$, визуальное альбедо люминофора при $n = \frac{1}{2}$ должно быть около 0,30—0,40, т. е. порядка альбедо белых песков. Мелкие, невидимые при наблюдениях трещины, содержащие это вещество, могли образоваться преимущественно по радиальным направлениям под действием сил, центром которых был кратер данной лучевой системы. По трещинам могли выделяться газы и растворы, из которых образовался белый люминесцирующий налет. Поэтому очень возможно, что вещество лучевых систем является некоторой разновидностью кварца. С течением времени это вещество должно оказаться засыпанным метеорной, нелюминесцирующей пылью, непрерывно падающей на поверхность Луны. Вероятно, этим объясняется полное отсутствие лучевых систем у кратеров старой формации.

По-видимому, можно считать, что общая масса метеорных пылинок размером меньше 2—3 μ, выпадающая на всю поверхность Земли, составляет около одной тонны в сутки. Таким образом, за год на Землю выпадает около 10^8 см^3 этой пыли. Поверхность Земли имеет площадь около $5 \cdot 10^{18}$ см^2. Следовательно, за $5 \cdot 10^{10}$ лет эта пыль должна покрыть поверхность слоем в 1 см. Заметное запыление упомянутой пылью должно получиться за 50 млн лет. Отсюда следует, что последний горообразовательный период в жизни Луны был не раньше 50 млн лет тому назад.

Указатель литературы

1. Lyot B., Dollfus A. Recherche d'une atmosphère au voisinage de la Lune//Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de L'Académie des Sciences. 1949. T. 229. N 24. P. 1277—1280.
2. Link F. Variations lumineuses de la Lune//Colloques internationales du Centre national de la Recherche scientifique. 1947. Vol. 9. P. 308.
3. Унзольд А. Физика звездных атмосфер. М., 1949. С. 42.
4. Шкловский И. С. Ультрафиолетовое излучение короны и хромосферы и ионизация земной атмосферы//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1949. Т. 4. С. 88.
5. Марков А. В. Отражательная способность и показатели цвета Земли и деталей Луны по электрофотометрическим промерам//Бюл. Абастуманской астрофиз. обсерв. 1950. № 11. С. 107—142.
6. Chapman S., Ferraro V. C. A. The Electrical State of Solar Streams of Corpuscles//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1929. Vol. 89. N 5. P. 470—479.
7. Всехсвятский С. К., Никольский Г. М., Пономарев Е. А., Чередниченко В. И. К вопросу о корпускулярном излучении Солнца//Астрон. журн. 1955. Т. 32. Вып. 2. С. 165—176.
8. Хабаков А. В. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. М., 1949. С. 179.

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ АТМОСФЕРЫ МАРСА ПО СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ 1956 ГОДА

В сентябре 1956 г. наблюдалось резкое уменьшение контраста деталей поверхности Марса при малом изменении общего цвета планеты. Отсюда сделан вывод, что помутнение атмосферы Марса произошло только в самых нижних слоях без существенных изменений общих оптических свойств атмосферы. Изучение спектрограмм полярной шапки, наблюдавшейся во второй половине сентября и в начале октября 1956 г., показало, что эта полярная шапка представляла собой атмосферное образование. Полярная шапка образуется сгущением тех же частиц, которые создают обычное рассеяние в верхних слоях атмосферы Марса.

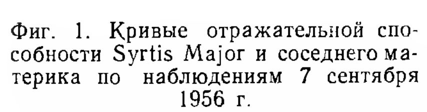
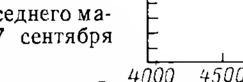
В сентябре и октябре 1956 г. близ великого противостояния Марса автором этой работы совместно с астрономами Харьковской обсерватории В. И. Езерским и А. Т. Чекирда был получен ряд спектрограмм поверхности Марса. Эти спектрограммы были сняты на 1220-мм рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории при помощи спектрографа с камерой, дающей линейную дисперсию около 23 Å у H_γ. При ширине щели 0,05 мм на пластинках Ilford HP3 снимки получались с экспозициями: 1 мин, 5 мин и полчаса, чтобы иметь нормальные плотности по всему спектру (6600—4000 Å). По возможности ближе к моменту наблюдений Марса снимался спектр Солнца на высоте Марса с той же аппаратурой и на тех же пластинках.

При наблюдениях Солнца большое зеркало рефлектора закрывалось диафрагмой с 20 отверстиями диаметром 4 мм, расположенными равномерно по всей поверхности зеркала. Снимки Солнца получались с экспозициями от 0,2 до 3 с, а фотометрическая шкала — с экспозицией около 5 мин.

Характерной особенностью противостояния 1956 г. была исключительно слабая видимость деталей на поверхности Марса. Даже такое темное море, как Syrtis Major, было едва различимо при наблюдениях на центральном меридиане в первых числах сентября. Результаты измерений в различных длинах волн яркостей Syrtis Major и прилегающего материка 7 сентября 1956 г. по отношению к яркости Солнца представлены на фиг. 1. На этой фигуре по оси ординат отложены десятичные логарифмы яркости деталей Марса по отношению к яркости Солнца. Как видно из фиг. 1, наибольший контраст материк—море в красных лучах составляет всего лишь 15 %. Интересно отметить, что в 1954 г. по нашим измерениям Syrtis Major в красных лучах было вдвое слабее материка, причем

Козырев Н. А. О некоторых свойствах атмосферы Марса по спектрофотометрическим наблюдениям 1956 года//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1958. Т. 18. С. 61—65.

контраст постепенно убывал до нуля в фиолетовой части спектра [1]. Это постепенное уменьшение контраста, как подробно разобрано в цитированной работе, объясняется действием атмосферной дымки при сильном поглощении коротковолнового излучения. Действительно, обозначим через $\bar{I}(\lambda)$ и $\bar{I}_1(\lambda)$ собственные отражательные способности материка и моря. Тогда

Фиг. 1. Кривые отражательной способности Syrtis Major и соседнего материка по наблюдениям 7 сентября 1956 г.

Одно деление вертикальной шкалы равняется 0,1 десятичного логарифма.

наблюдаемые альбедо материка и моря $I(\lambda)$ и $I_1(\lambda)$ получатся умножением собственных альбедо на экспоненциальные множители ослабления света при двойном прохождении атмосферы и прибавлением отражательной способности атмосферы $A(\lambda)$:

$$I(\lambda) = \bar{I}(\lambda)\, e^{-2\tau_\lambda} + A(\lambda), \qquad (1)$$

$$I_1(\lambda) = \bar{I}_1(\lambda)\, e^{-2\tau_\lambda} + A(\lambda),$$

где τ_λ — сумма оптических глубин рассеяния и истинного поглощения:

$$\tau_\lambda = \tau_\sigma + \tau_\varkappa. \qquad (2)$$

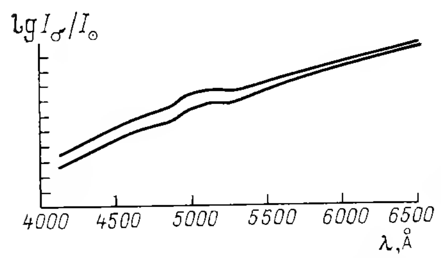
Ограничиваясь рассеянием только первого порядка, что вполне допустимо для атмосферы с большим поглощением, легко получить выражение для $A(\lambda)$ через коэффициенты рассеяния σ и истинного поглощения $\varkappa$:

$$A(\lambda) = \int_0^{\tau_\lambda} e^{-2(\tau_\varkappa + \tau_\sigma)}\, d\tau_\sigma = \frac{\sigma}{2(\varkappa + \sigma)}\left[1 - e^{-2\tau_\lambda}\right]. \qquad (3)$$

Из формулы (1) видно, что при больших оптических глубинах контраст деталей должен совершенно исчезнуть и будет виден только свет, отраженный атмосферой. Поэтому приходится заключить, что в фиолетовых лучах $\tau_\lambda > 1$. Но в фиолетовых лучах альбедо Марса очень мало — порядка 0,06. Из формулы (3) следует, что $\varkappa/\sigma = 9$, следовательно, атмосфера Марса обладает большим истинным поглощением в фиолетовых лучах. Поверхность любого цвета, рассматриваемая через

такую атмосферу, будет казаться красной. Поэтому красный цвет Марса определяется свойствами его атмосферы.

Резкое уменьшение контраста деталей на Марсе в 1956 г. в сравнении с 1954 г. указывает на сильные изменения свойств атмосферы Марса. Так как цвет Марса определяется его атмосферой, то можно было бы ожидать больших изменений в окраске Марса. Однако, хотя Марс и казался в 1956 г. несколько белее обычного, больших изменений в цвете не произошло. Из этого обстоятельства может быть сделан следующий вывод. Резкое усиление атмосферной дымки, скрывшей детали поверхности Марса, произошло лишь в самых нижних слоях атмосферы. Цвет же Марса определяется поглощающим слоем, расположенным выше. Этот слой и придает красную окраску поверхности любого цвета, расположенной ниже. Таким образом, малая контрастность деталей на Марсе в 1956 г. объясняется сильной запыленностью самых нижних слоев атмосферы — скорее всего пылевыми бурями.



Фиг.2. Кривые отражательной способности южной полярной шапки и соседнего материка по наблюдениям 4 октября 1956 г.

Одно деление вертикальной шкалы равняется 0,1 десятичного логарифма.

Во второй половине сентября и в начале октября наиболее заметной деталью на диске Марса была южная полярная шапка. Несмотря на малый размер шапки (меньше 2″), при хороших изображениях, удалось получить вполне удовлетворительные спектрограммы. На фиг. 2 представлены результаты фотометрических измерений спектров полярной шапки и прилегающей поверхности Марса, полученных 4 октября 1956 г. Сразу бросается в глаза обратный ход контрастов на фиг. 1 и 2. Для всякой детали на поверхности Марса контраст должен уменьшаться с уменьшением длины волны. Это означает, что полярная шапка не лежала на поверхности Марса, а в основном представляла собой образование в атмосфере. Действительно, напишем уравнения (1) для случая одинаковых участков планеты, но с разными свойствами атмосферы. Пусть $A(\lambda)$ — отражательная способность обычной атмосферы и $A_1(\lambda)$ — отражательная способность атмосферы в области полярной шапки. Тогда

$$I(\lambda) = \bar{I}(\lambda)\, e^{-2\tau} + A(\lambda), \qquad (4)$$
$$I_1(\lambda) = \bar{I}(\lambda)\, e^{-2\tau_1} + A_1(\lambda),$$

где $I_1(\lambda)$ — видимая отражательная способность полярной шапки. Из формулы (4) видно, что для атмосферного образования наибольший контраст должен быть при $\tau, \tau_1 > 1$, т. е. в фиолетовых лучах, и почти исчезать при $\tau, \tau_1 \to 0$, т. е. в красных лучах, когда начинает просвечивать поверхность. Получается ход контраста, обратный обычному для поверхностных образований и соответствующий фиг. 2.

Согласно фиг. 2 наибольший контраст полярная шапка — материк составляет только 25 %. Вместе с тем при непосредственных наблюдениях планеты видно, что полярная шапка по крайней мере вдвое ярче окружающей поверхности. Поэтому малый контраст, полученный на спектрограммах, следует отнести за счет дрожаний изображений. Можно надеяться, что это замывание спектра полярной шапки не повлияет на правильность некоторых общих заключений.

Тщательное сравнение спектра полярной шапки со спектрами соседних областей Марса и спектром Солнца не показало каких-либо особенностей, отличающих полярную шапку. Как видно из фиг. 2, общий ход распределения энергии в спектре полярной шапки тоже во всех подробностях похож на ход распределения энергии в спектре материка. Горб на этих кривых около 5000—5200 Å является характерной особенностью всех деталей Марса (см. фиг. 2). Исследование спектральных кривых моря и материка, выполненное нами по снимкам 1954 г., показало, что этот горб кривых связан с максимумом отражательной способности атмосферы $A(\lambda)$ и оптической глубины τ_λ около 5200 Å [1]. Максимальное значение $A(\lambda)$ оказалось равным 0,076, в то время как в фиолетовых лучах $A(\lambda)=0{,}042$. Из формулы (4) следует, что при значительных (τ, τ_1)

$$I_1 - I = \Delta I \cong \Delta A.$$

Вычисляя теперь по кривым фиг. 2 $\Delta I = 2{,}3\, I \Delta \lg I$, находим, что функция $\sqrt{\Delta A(\lambda)} \cong \Delta I$ имеет максимум около 5000—5100 Å, т. е. приблизительно там, где расположен и максимум $A(\lambda)$. Принимая для альбедо Марса в этих лучах значение $I=0{,}15$ (визуальное альбедо), получаем максимальное значение $\Delta A = 0{,}035$ и $\Delta A/A = 0{,}46$. В фиолетовых же лучах $\Delta A = 0{,}016$ и $\Delta A/A = 0{,}38$. Таким образом, отношения $\Delta A/A$ и, вероятно, $\Delta\sigma/\sigma$ не могут сильно зависеть от длины волны.

К сожалению, более точное доказательство независимости от длины волны отношения $\Delta\sigma/\sigma$ в настоящее время едва ли возможно из-за отсутствия надежных определений τ_λ в атмосфере Марса. Однако уже и приблизительное постоянство отношения $\Delta A/A$ позволяет сделать существенное заключение о природе полярной шапки. Полярная шапка представляет собой сгущение тех же рассеивающих частиц, которые существуют всегда в атмосфере Марса и создают атмосферную дымку. Эти частицы должны находиться в верхних слоях атмосферы

Марса, где происходит истинное поглощение коротковолнового излучения, и выше этого слоя. Действительно, распределение яркости по диску Марса в коротковолновых лучах (при $\tau > 1$) показывает не только отсутствие потемнения к краю диска, но даже некоторое повышение яркости к краю. Последнее обстоятельство будет в том случае, когда рассеивающий слой расположен выше поглощающего слоя. Сгущение рассеивающих частиц верхних слоев атмосферы Марса в полярных областях планеты показывает, что образованию этих частиц способствует понижение температуры. Интересно, что в первых числах октября 1956 г. на вечернем крае Марса неоднократно наблюдалось сильное повышение яркости. Полученные спектры этого края показывают ход распределения энергии, вполне соответствующий ходу распределения энергии полярной шапки. Таким образом, полярная шапка и вечерние образования в атмосфере Марса имеют общую природу. Скорее всего, они состоят из микроскопических ледяных кристаллов наподобие изморози в атмосфере наших полярных стран. Разумеется, при некоторых условиях эти кристаллы могут выпадать на поверхность планеты. Тогда полярная шапка, не будучи только атмосферным образованием, должна хорошо различаться в красных и инфракрасных лучах.

Указатель литературы

1. Козырев Н. А. Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1955. Т.15. С. 147—152.

ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ЛУНЕ

Изучение морфологии поверхности Луны убедительно показывает, что рельеф Луны возникал постепенно в результате неоднократных поднятий и опусканий ее коры. Действительно, наклоненные и «полузатопленные» кратеры, находящиеся на границах морей, показывают, что в этих местах происходили опускания участков коры с образованием трещин и последующим излиянием расплавленных масс. Знаменитая долина в Лунных Альпах шириной около 10—15 км и длиной свыше 100 км с подобными друг другу отвестными краями дает пример поднятия лунной коры, сопровождавшегося значительным растяжением. С такими тектоническими процессами, несомненно, должна была быть связана и вулканическая деятельность.

Представим себе выход расплавленных масс из недр Луны на поверхность. При отсутствии атмосферы адсорбированные в расплавах газы должны бурно выходить из них, создавая пенистые структуры. В результате породы внешних слоев Луны должны стать чрезвычайно пористыми, с ничтожным значением коэффициента температуропроводности. Вероятно, этим и объясняется, что коэффициент температуропроводности внешних слоев Луны раз в сто или тысячу меньше, чем во внешних слоях Земли. Если выходы расплавленных масс, т. е. магмы, происходили в отдельных участках лунной поверхности в разные эпохи, то выделявшиеся при этом газы не могли создать у Луны заметной атмосферы. Действительно, постоянная бомбардировка поверхности Луны солнечными корпускулами, жесткой радиацией Солнца и микрометеоритами должна сообщать частицам атмосферы скорости, превышающие параболическую (около 2,4 км/с), т. е. сдувать ее и не давать ей накапливаться. Другое дело, если планета уже имеет обширную атмосферу. Тогда проникновение частиц будет подобно глубинному взрыву, сообщающему энергию большим массам, благодаря чему отдельные частицы газа получат малые скорости, которые не могут повести к диссипации планетной атмосферы. Поэтому если у Луны сразу не было достаточной атмосферы, то она не могла накопить ее постепенно.

Причина тектонических процессов и внутренней энергии космических тел до сих пор не известна. Во всяком случае, ясно, что большое тело при равных коэффициентах теплопроводности имеет больше возможности сохранять и накапливать внутреннюю энергию, чем тело малых размеров. Казалось бы, что эти соображения говорят против возможности сохранения Луной способности к тектоническим процессам до настоящего времени.

Козырев Н. А. Вулканическая деятельность на Луне//Природа. 1959. № 3. С. 84—87.

Однако если мы примем во внимание чрезвычайно малую температуропроводность поверхностных слоев Луны, то придем к заключению, что она может лучше накапливать и сохранять внутреннюю энергию, чем наша Земля. Поэтому горообразовательные процессы могут и теперь идти на Луне, и даже более интенсивно, чем на Земле. Получается интересный и несколько парадоксальный вывод: отсутствие атмосферы, вызвавшее пенистую структуру поверхности, резко уменьшая теплоотдачу, способствует накоплению внутренней энергии и развитию горообразовательных процессов.

Топография Луны изучалась весьма тщательно в течение двух столетий. Несмотря на это, до самого последнего времени не удавалось привести ни одного достоверного примера изменений в лунном рельефе. Этот результат не находится в противоречии с заключением о возможности и в настоящее время интенсивной тектонической деятельности на Луне. Действительно, если отвлечься от процессов, связанных с деятельностью воды, воздуха и жизни на Земле, то и с Луны было бы очень трудно установить достоверно наличие горообразовательных процессов на Земле.

Однако с давних пор многие наблюдатели указывали на возможность изменений некоторых кратеров на Луне. Среди наблюдений этого рода особенно интересны указания на появление дымки, вуалирующей детали дна кратеров. К сожалению, эти наблюдения были визуальными и недостаточно убедительными, ибо видимость деталей на Луне очень зависит от условий освещения их Солнцем, а кроме того, может быть связана с качеством изображений, т. е. с состоянием земной атмосферы.

Впервые серьезное и объективное обоснование возможности появления дымки, вуалирующей детали лунной поверхности, получил астроном Динсмор Олтер в октябре 1956 г. на 60-дюймовом рефлекторе Обсерватории Маунт Вильсон в Калифорнии. Он получил серию снимков кратеров Птоломей, Альфонс и Арзахель в голубых и инфракрасных лучах. Из-за рассеяния света земной атмосферой все снимки в голубых лучах получились значительно менее контрастными, чем в инфракрасных. Но детали дна кратера Альфонс оказались особенно замытыми.



Вулканическая деятельность на Луне.

Справа — участок Луны, в центре — кратер Альфонс. Проходящая через изображение центрального пика белая черта показывает относительное положение щели спектрографа. Слева — спектрограммы кратера Альфонс, снятые: *а* — 3 ноября 1958 г. с 6 ч 00 мин до 6 ч 30 мин; *б* — 3 ноября 1958 г. с 6 ч 30 мин до 6 ч 40 мин (время московское).

Рассмотрение опубликованных Д. Олтером фотографий убедило меня в том, что этот эффект заслуживает серьезного внимания и что на дне кратера Альфонс может происходить истечение газов.

Группа из трех перечисленных кратеров, средним из которых является Альфонс (рисунок справа), расположена по меридиану и находится почти в центре лунного диска. Группа этих кратеров древнего происхождения, но этот участок лунной поверхности интересен тем, что здесь проходит ряд меридиональных разломов, появившихся уже после формирования кратеров. Интересен разлом, идущий по диаметру кратера Альфонс, а также трещины и темные пятна на дне этого кратера. Кратер Альфонс имеет диаметр около 120 км. Поднимающийся весьма круто, его центральный пик достигает высоты около 1400 м над уровнем дна кратера. Расположенный же к северу от Альфонса кратер Птолемей является типичным большим цирком, в котором нет центрального пика. Строение дна и вала кратеров данной группы подтверждает высокую тектоническую активность этого участка лунной поверхности.

Рассмотрим теперь вопрос, каким образом может получиться эффект замывания деталей при выделении газов. Разумеется, подобный эффект замывания не может быть создан рассеянием света в выделяющихся газах. Для этого необходим столб газа порядка земной атмосферы, т. е. порядка 10^{25} молекул над квадратным сантиметром поверхности. Но если газы могут флюоресцировать под действием жесткой солнечной радиации, то

для создания вуали будет достаточен столб газа, способный поглотить всю жесткую радиацию Солнца. Коэффициент поглощения жесткого, т. е. корпускулярного, рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения должен быть очень большим. Поэтому можно думать, что столб газа порядка 10^{15} молекул, т. е. около 10^{-10} земной атмосферы, уже создает заметную флюоресценцию. Возникновение же такой локальной атмосферы при истечении газов из кратеров Луны представляется вполне возможным. Остается только вопрос — достаточна ли интенсивность жесткой радиации Солнца, чтобы создать флюоресцентное излучение в видимой части спектра, заметное на фоне обычного, отраженного Луной солнечного спектра. Надо заметить, что такое флюоресцентное свечение могут давать не только газы, но и минералы, находящиеся на поверхности Луны.

В 1955 г. автор настоящей статьи спектральным методом из сравнения контуров фраунгоферовых линий солнечного и отраженного Луной спектров получил прямое доказательство существования флюоресценции в лучевой системе кратера Аристарх, интенсивность которой достигала в фиолетовых лучах около 15 % от обычного, отраженного Луной света. Этот результат показал, что и существование истечения газов на дне лунных кратеров можно пытаться доказать спектральным методом по их флюоресценции.

В октябре и ноябре 1958 г. совместно с астрономом Харьковской обсерватории В. И. Езерским я занимался спектральными исследованиями Марса на 50-дюймовом рефлекторе в Крымской обсерватории Академии наук СССР. Попутно я решил систематически получать фотометрически стандартизованные спектрограммы некоторых деталей Луны, и в частности кратера Альфонс, для решения вопроса о возможности истечения газов.

При наблюдениях щель спектрографа всегда располагалась по прямому восхождению. На снимках линейная дисперсия составляла 23 Å в 1 мм вблизи $H\gamma$ при масштабе деталей около 10″ в 1 мм. Нормальная экспозиция на пластинках Kodak 103 AF занимала от 10 до 30 мин.

До ночи со второго на третье ноября никаких особенностей на спектрограммах Альфонса не было замечено. Утром 3 ноября были получены три спектрограммы кратера Альфонс, причем щель спектрографа пересекла этот кратер по диаметру, проходя через его центральный пик, как показано на рисунке справа. При получении первой спектрограммы (в 4 ч по московскому времени) во время гидирования по изображению на щели меня удивила сильная размытость и необычный красноватый оттенок центрального пика. После получения этой спектрограммы согласно программе пришлось перейти к спектрографированию Марса. Поэтому следующая спектрограмма Альфонса была получена после перерыва от 6 ч 00 мин до 6 ч 30 мин. Как

только центральный пик кратера Альфонс оказался на щели, меня поразила его необычайная яркость и белизна. При гидировании я не отрывал глаз от визирной трубки и вдруг заметил, что яркость пика внезапно упала до обычной. Тогда экспозиция была сразу же прекращена и начата следующая с 6 ч 30 мин до 6 ч 40 мин при том же положении щели. Своим зрительным впечатлением я не придавал серьезного значения и думал, что все эти особенности связаны с изменением качества изображений. Поэтому получилось несколько неожиданно, что после проявления спектрограмм все замеченные глазом изменения оказались совершенно реальными и действительно происходили в центральном пике Альфонса.

На первой спектрограмме центральный пик заметно ослаблен в фиолетовых лучах по сравнению с соседними деталями кратера, чего не наблюдалось на обычных спектрограммах. Измерение этого снимка показало, что поглощение изменялось, как λ^{-1}, и вычисленное общее поглощение получилось равным 15—20 % в видимой части спектра.

На второй спектрограмме это поглощение незаметно, и бросается в глаза эмиссионный газовый спектр, состоящий из ряда широких полос, наложенных на обычный спектр центрального пика (рисунок слева, *а*).

Третья спектрограмма показала обычное состояние кратера (рисунок слева, *б*). Таким образом, явление выделения газов длилось не более 2 ч 30 мин и не менее 0 ч 30 мин.

Следующей ночью, с третьего на четвертое ноября, удалось получить еще две спектрограммы Альфонса. Эти спектрограммы показали, что состояние кратера продолжало оставаться нормальным. Вечером 4 ноября наступила последняя четверть, и Альфонс перестал быть доступным для следующих наблюдений.

Итак, ранним утром 3 ноября 1958 г. в центральном пике кратера Альфонс происходило исключительно интересное явление — вулканический процесс. Сначала была выброшена пыль — вулканический пепел, а затем, как обычно, выделились газы. Выход газов, вероятно, происходил из поднявшейся к поверхности магмы, которая должна содержать газы, адсорбированные в глубинах при высоком давлении.

Самой характерной особенностью эмиссионного спектра центрального пика Альфонс является группа полос, начинающаяся с 4754 Å и сравнительно резко очерченная со стороны длинных волн (рисунок слева, *а*). Яркость этих полос достигает 40 % от нормальной яркости пика в соответствующих длинах волн. Заметно, что наложенная эмиссия слегка сдвинута в сторону Солнца. Этот сдвиг, составляющий около 0″,7, или около 1,5 км на лунной поверхности, вероятно, объясняется тем, что жесткая радиация Солнца, возбуждавшая свечение, могла проникнуть только в обращенные к Солнцу части газового столба,

выходившего из центра пика. Надо полагать, что свечение этих газов происходило подобно свечению комет. Радиация Солнца производила диссоциацию сложных родительских молекул на оптически активные молекулярные остатки — радикалы, которые и создавали наблюдаемый спектр. Интересно сопоставить поверхностную яркость свечения выделявшихся газов с поверхностной яркостью комет.

Вблизи полнолуния при отвесном падении солнечных лучей отражательная способность центрального пика кратера Альфонс равняется 0,13, т. е. почти в два раза больше средней отражательной способности лунной поверхности. В момент наблюдений высота Солнца над горизонтом кратера Альфонс равнялась только 18°. Согласно данным харьковского астронома В. А. Федорец отражательная способность центрального пика при этой высоте Солнца уменьшается в десять раз по сравнению с отражательной способностью в полнолуние. Если принять, что в среднем по всем длинам волн яркость дополнительного свечения газов составляла десять процентов от яркости пика, то поверхностная яркость наблюдавшегося газового свечения получается равной одной пятидесятой средней поверхностной яркости Луны в полнолуние. Так как в полнолуние яркость Луны составляет —5,5 звездной величины с квадратной минуты, то поверхностная яркость свечения газов получается порядка —1 звездной величины с квадратной минуты. Поверхностная же яркость комет составляет около девятой величины с квадратной минуты.

Таким образом, наблюдавшееся свечение газов было в десять тысяч раз интенсивнее свечения комет. Это показывает, что количество выделившихся газов было с избытком достаточно для поглощения всей жесткой радиации Солнца. Заметим, что, несмотря на такую яркость, свечение газов едва ли можно было бы обнаружить около полнолуния при высоком положении Солнца. Вообще его было бы очень трудно наблюдать, будь отражательная способность Луны выше. Надо помнить еще, что свечение вулканических газов может происходить только тогда, когда данная деталь Луны освещается Солнцем, поэтому в пепельном свете такое явление наблюдаться не может.

Для получения полного представления об эмиссионном спектре необходимо произвести шаг за шагом по всему спектру вычитание из яркости спектра центрального пика яркость спектра соседнего участка дна кратера. Такие измерения, требующие большой тщательности, еще не закончены. Но некоторые выводы можно сделать уже и сейчас.

В яркую группу полос, которая начинается с 4754 Å и постепенно ослабляется к фиолетовой стороне спектра, входит как главная составляющая полоса Свана молекулы углерода C_2. Отчетливый максимум на длине волны 4737 Å соответствует началу системы вибрационных полос этой молекулы. Существование C_2 подтверждается наличием других, значительно более слабых групп полос Свана с максимумами: 5165 и 5636 Å.

Таким образом, существование молекулы C_2 в выделявшихся газах можно считать установленным. В районе от Hδ до линии H Ca^+ существует система слабых полос, наблюдающаяся, как и полосы Свана, в спектре головы комет и принадлежащая линейной молекуле C_3. Характерным отличием от спектров комет является полное отсутствие в спектре выходивших газов ультрафиолетовой полосы CN 3883 Å. Присутствуют сравнительно яркие полосы в участке спектра от 4600 до 4250 Å и в других местах большое количество слабых полос. Определить молекулы, которым принадлежат эти полосы, пока не удалось. Надо отметить, что все полосы этого спектра сильно размыты. Полосы Свана должны быть совершенно резкими со стороны длинных волн, но и они оказались размытыми приблизительно на 5 Å. Скорее всего, это явление связано с процессом типа преддиссоциации: полосы наблюдались в основном только в момент рождения оптически активных молекулярных остатков из сложных родительских молекул.

Совокупность наблюдавшихся явлений говорит о том, что в центральном пике кратера Альфонс происходило подлинное вулканическое извержение. Во всяком случае это не могло быть слабым истечением газов из трещин лунной поверхности, которое, вероятно, наблюдал Д. Олтер. По-видимому, это заключение подтверждается сообщением английских наблюдателей П. Уилкинса и Ф. Бриюна о появлении небольшого красноватого пятна непосредственно около центрального пика Альфонса с южной от него стороны. Это пятно они наблюдали 19 ноября 1958 года и утверждают, что оно не существовало до ноября 1958 года.

Возможно, что описанное здесь наблюдение еще долгое время будет оставаться единственным. Но независимо от этого оно показывает, что внутренняя энергия и возможности горообразовательных процессов сохранились на Луне до настоящего времени. Совпадение наблюдавшегося процесса с положением центрального пика не может быть случайным и показывает, что основной рельеф Луны возник эндогенно, а не в результате падения метеоритов на ее поверхность.

ВУЛКАНИЗМ НА ПЛАНЕТАХ

Краткое содержание. Спектральные наблюдения показали, что вулканическая активность на Луне проявляется часто. Характерной особенностью Луны, по-видимому, является присутствие молекулярного углерода и отсутствие натрия в вулканических газах.

Две специфические полосы поглощения в спектре дыма вулкана Ключевского на Камчатке были также обнаружены на спектрограммах Венеры. На этой планете вулканические процессы, вероятно, более активны, чем на Земле.

Отсутствие таких полос в спектре Марса свидетельствует о незначительной вулканической активности на нем.

Введение. Для изучения Земли и других космических тел невозможно построить модель достаточных размеров, чтобы допустить экспериментальную проверку теоретических выводов. Тем не менее существование других планет — объектов, подобных Земле, — дает аналоги нашей Земли, имеющиеся налицо в природе. Поэтому исследование таких объектов может быть полезным при решении многих проблем геофизики. Например, весьма важно сравнить внутреннюю энергию Земли с таковой у других планет. С точки зрения астрономической наличие внутренней энергии у планет может быть обнаружено легко путем наблюдения проявлений вулканизма на этих телах. Спектр поверхности или атмосферы планеты должен обладать некоторыми особенностями, обусловленными вулканизмом. Луна представляет объект особого интереса в этом смысле. Поскольку она находится весьма близко к Земле, нам нетрудно удостовериться в наличии вулканических процессов на ней и изучить их на основе спектральных наблюдений отдельных деталей на ее поверхности.

Спонтанные извержения на Луне. До недавнего времени астрономы рассматривали особенности рельефа лунной поверхности как результат действия метеоритов, солнечного облучения и других внешних причин. Однако выброс газов из центральной горки кратера Альфонс, зарегистрированный 3 ноября 1958 г., полностью опровергает это мнение [1]. Газовая эмиссия длилась приблизительно около часа, причем было выброшено около 10^8 м^3 газа (в перерасчете на земное атмосферное давление). На полученной спектрограмме отчетливо выступает эмиссионная полоса с ядром у λ 4737 Å. Заметна также слабая эмиссия в районе длин волн 4330—4460 Å с максимумом около λ 4400 Å. Возможно, эта слабая эмиссия представляет систему

Kozyrev N. A. Volcanism on the planets//Tectonophysics. 1964—1965. Vol. 1. N 5. P. 451—454. Перевел с англ. А. Н. Дадаев.

полос D и E хлористой меди. Таким образом, углерод — первый из элементов, составляющих тело Луны, который обнаружен путем непосредственных наблюдений.

23 октября 1959 г. лунный кратер Альфонс снова стал активным. В этом случае очаг вулканической активности представлял не центральный пик, а побочный конус, расположенный в 11 км к юго-востоку. На полученной спектрограмме нет отчетливо выраженной газовой эмиссии, но можно установить заметное различие во внешнем виде спектров для длин волн меньше и больше, чем λ 5500—5300 Å. В желтых и красных лучах можно видеть узкую (<1 км) деталь с непрерывным спектром, который, очевидно, представляет спектр лавового потока с температурой порядка 900—950 °С. В голубой части спектра эта деталь не видна, но она замещена широким ярким спектром с широкой тенью. Этот яркий спектр, как и его тень, очевидно воспроизведены частицами выброшенного дыма или газа, который ответствен за рассеяние коротковолновой солнечной радиации. Таким образом, 23 октября 1959 г. вулканическое извержение из кратера Альфонс имело интенсивность, сходную с силой большого земного извержения.

Лунные фумаролы. Кроме таких мощных самопроизвольных извержений мы наблюдали на Луне относительно стабильную эмиссию газов, напоминающую фумаролы земных вулканов. 25 и 27 ноября, а также 3 декабря 1961 г. были получены спектрограммы кратера Аристарх, показывающие эмиссию газов в центре кратера на площади 1—2 км². На них можно видеть группу эмиссионных полос с резкой границей у λ 4634±1 Å с красной стороны спектра. В целом эта группа полос простирается до λ 4390 Å и имеет несколько максимумов. В результате анализа было найдено, что эта эмиссия произведена системой молекулярных линий водорода H_2. Эта система начинается в голубой части спектра с исключительно яркой линией параводорода, которая как раз приходится на длину волны 4634 Å. Химический анализ показывает, что газы земных вулканов также содержат значительное количество водорода. Отсутствие эмиссионных полос водорода в спектре пламени земных вулканов является результатом низкой температуры пламени, которая недостаточна для того, чтобы возбудить эти молекулы, тогда как люминесценция на Луне возбуждается высокотемпературной радиацией Солнца.

Частота наблюдаемости проявлений лунного вулканизма свидетельствует о существовании внутренней энергии, которая не менее (по удельной массе), чем энергия Земли. Луна, как и Земля, должна обладать достаточно высокой температурой в недрах для того, чтобы расплавить составляющие ее породы на определенных глубинах. Трудности сравнения химического состава Луны и Земли возникают вследствие совершенно недостаточного изучения спектров пламени земных вулканов.

Спектроскопия земных вулканов. В 1959 г. первые надежные данные относительно спектроскопии земных вулканов были получены Дельсемом [2], который получил фотографии спектра вулкана Нийрагонго в Африке. На его спектрограмме получились линии натрия и кальция, большое количество молекулярных полос, а также непрерывная эмиссия в спектральной области от λ 6600 Å до 5600 Å. Полосы были убедительно отождествлены Дельсемом как системы A, B, C и D, принадлежащие хлористой меди (CuCl).

В августе 1962 г. автор получил несколько снимков спектров лавового озера и пламени над ним в кратере вулкана Плоский Толбачек на Камчатке. Сравнение с солнечным спектром показало, что температура лавы составляла 990 °C с ошибкой ±20°. В спектре пламени имелись яркая линия натрия и полосы систем D и E хлористой меди. Отсутствие полос системы A и лишь слабое присутствие признаков полос B и C в спектре показывает, что исследуемое пламя обладало гораздо более высокой температурой, чем пламя Нийрагонго, которое наблюдал Дельсем. Полосы Свана молекулярного углерода вообще отсутствуют в спектре пламени обоих вулканов, хотя температуры достаточно высоки для их возбуждения. Таким образом, присутствие молекулярного углерода и отсутствие натрия в вулканических газах являются характерной особенностью Луны. Возможно, этот факт указывает на существенное различие химического состава Луны и Земли. Это также может указывать на различное происхождение названных двух тесно связанных тел.

Наша экспедиция на Камчатку кроме спектров вулканического пламени получила также абсорбционные спектры дымов и газов вулканов Плоский Толбачек, Ключевский, Безымянный и фумарол кратера Былинкина. Для того чтобы обнаружить абсорбционные полосы, производилось фотометрическое сравнение спектров Солнца или ярких площадок неба путем фотографий, снятых сквозь дым и за его пределами. В визуальной области спектра дымы вулканов Толбачек и Ключевского, а также фумаролы кратера Былинкина обнаруживают две слабые полосы поглощения с резкими фиолетовыми краями. Более интенсивная полоса (глубиной около 20 %) имеет край у λ 4382 Å и ширину около 100 Å. Вторая слабая полоса имеет длину волны на краю 4109 Å при ширине около 50 Å. В спектре дыма вулкана Безымянный вообще не выявлено таких полос (этот тип вулканов не проявляет в своем составе хлористых соединений). Происхождение описанных выше полос остается неясным. Любопытно заметить, что точно такие же полосы были найдены автором на спектрограммах Венеры, полученных в 1953 г. В октябре 1954 г. эти полосы были также обнаружены в обычном спектре земной атмосферы. Последние сведения были получены из спектральных фотографий небесных тел, снятых вблизи горизонта в Крымской астрофизической обсерватории. По интенсивности полос можно сделать вывод, что число молекул, ответственных за их образование, в атмосфере Венеры в шесть раз больше, чем в нормальной атмосфере Земли, тогда как в дымах вулканов — в пятьдесят раз больше. По всей вероятности, эти полосы в атмосферах Земли и Венеры происходят вследствие выбросов вулканических газов. Таким образом, мы имеем доказательство наличия вулканических процессов на Венере, которые на ней, вероятно, более активны, чем на Земле. Отсутствие таких полос в спектре Марса указывает на незначительную вулканическую активность этой планеты.

Заключение. Итак, из спектральных наблюдений представляется возможным установить существование вулканизма на Луне и подтвердить со всей вероятностью вулканическую активность Венеры. Поэтому мы можем заключить, что вулканические явления представляют характерную особенность не только Земли, но также и других планет. Схожесть такого рода процессов указывает на идентичную природу внутренней энергии космических тел.

Указатель литературы

1. Kozyrev N. A. Physical observations of the lunar surface//Physics and Astronomy of the Moon/Ed. by Z. Kopal. N. Y.; L., 1962. Chapter 9. P. 361—383.
2. Delsemme A.-H. Spectroscopie de flammes volcaniques//Bulletin des Séances de l'Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer (Bruxelles, Belgique). 1960. Nouvelle série. Vol. 6. N 3. P. 507—519.

Часть 3

ПРИЧИННАЯ МЕХАНИКА

ПРИЧИННАЯ ИЛИ НЕСИММЕТРИЧНАЯ МЕХАНИКА В ЛИНЕЙНОМ ПРИБЛИЖЕНИИ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В последнее время в ядерной физике были обнаружены явления, показывающие неравноценность Мира и его зеркального отображения. К существованию этой несимметрии автор пришел уже несколько лет назад, исходя из астрономических данных. Астрономические данные указывают на то, что упомянутая несимметрия Мира существует благодаря несимметричности времени, т. е. благодаря объективному отличию будущего от прошедшего. Этим свойством времени, которое может быть названо направленностью или ходом, устанавливается отличие причин от следствий. Поэтому механику, в которой учитывается ход времени, естественно назвать несимметричной или причинной механикой.

Все явления природы протекают во времени. Поэтому невозможно представить себе отрасль науки, изучающей Мир, в которой свойства времени не играли бы роли. Если ход времени действительно создает неравноценность Мира и его зеркального отображения, то явления асимметрии в биологии и в микромире должны иметь тоже объяснение направленностью времени. Трудно говорить о причинных связях, существующих в микромире. Вместе с тем только с помощью простых опытов, допускающих наглядное представление, можно по-настоящему понять сущность времени. Поэтому нам представляется, что физическое изучение свойств времени и причинности следует начать с опытов элементарной механики.

Козырев Н. А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково, 1958. 90 с.

ГЛАВА I

АСТРОФИЗИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в астрофизике редко удается давать безусловно правильные объяснения наблюдаемым явлениям звездного Мира. Это относится не только к частным и сложным явлениям, но и к явлениям принципиальным, большой общности, с простыми закономерностями. Уточнение физических обстоятельств и применение более совершенного математического аппарата не помогают теоретику и не приносят ему радостного чувства правильно решенной задачи. Из всего этого пора сделать вывод, что для решения астрономических проблем у нас не хватает знаний. Очевидно, в Мире существует некоторый глубокий принцип, не открытый еще современным естествознанием. Этот принцип едва ли можно придумать, но его следует искать индуктивным путем, решая теоретически обратные задачи. При таком исследовании мы должны не обходить трудные для теории вопросы, а, наоборот, сосредоточивать на них свое внимание.

Применяя физические законы для объяснения явлений звездного Мира, мы неизбежно распространяем на Вселенную и все следствия второго начала термодинамики. Во Вселенной же нет никаких признаков деградации, которая вытекает из второго начала. Мир сверкает неисчерпаемым разнообразием, мы не находим в нем и следов приближения тепловой и радиоактивной смерти. По-видимому, здесь и заключается основное противоречие — противоречие очень глубокое, которое нельзя устранить ссылками на бесконечность Вселенной. Дело в том, что не только отдельные астрономические объекты, но даже целые системы в такой степени изолированы друг от друга, что их можно рассматривать как системы замкнутые. Для них тепловая смерть должна заметно приблизиться прежде, чем успеет прийти помощь со стороны. Такие деградированные состояния систем должны бы быть преимущественными, а вместе с тем они почти незаметны. Оставаясь в рамках обычных законов механики и физики, остается считать, что наблюдаемая картина Мира является следствием или одной обширной, охватившей некогда весь Мир катастрофы, или следствием мелких, постоянно происходящих катастроф, обновляющих Мир.

Таков круг идей космогонических и эволюционных построений астрономии, начиная от Ньютона — вплоть до наших дней, хотя логически эти катастрофы следует считать беспричинными, так как они происходят вопреки законам природы.

Интересно сходство этих идей с воззрениями геологов прошлого столетия, до Ляйелля, на историю жизни Земли. Так, Кювье и Леопольд фон Бух считали, что развитие Земли происходило в результате грандиозных потрясений, так называемых

катаклизмов, которые временами обновляли Землю. Ныне геология опирается на чрезвычайно плодотворный принцип актуализма, развитый и обоснованный Ляйеллем в 1830 г. Еще в 1802 г. этот принцип был сформулирован Ламарком: «Историю Земли можно объяснить, исходя только из обычных сил природы, постоянно действующих в настоящем». Научная последовательность и стройность такой системы взглядов совершенно очевидна. Желая быть столь же последовательным и при объяснении развития звездного Мира, мы должны признать, что в природе существуют постоянно действующие Причины, препятствующие возрастанию энтропии.

Проблема преодоления тепловой смерти Мира теснейшим образом связана с проблемой происхождения свечений Солнца и звезд. Дело в том, что изменения второго начала едва ли возможны при сохранении первого начала термодинамики. Поэтому можно думать, что, решив задачу о природе звездной энергии, мы найдем ключ к пониманию важнейших явлений звездного Мира. В звездах происходят сильные нерегулярные процессы, но общие характеристики звезд, как, например, радиус, масса, светимость, степень сжатия от вращения и т. п., должны давать соотношения, зависящие только от главнейших причин. Поэтому можно рассчитывать, что в теории строения звезд с успехом будет решаться следующая обратная задача: по наблюденным общим характеристикам требуется вычислить физические условия внутри звезд и установить физические обстоятельства, при которых будут выполняться соотношения, найденные наблюдательной астрофизикой. В этой задаче неизвестных очень много. Поэтому, несмотря на достаточность наблюдаемых соотношений, нельзя и пытаться решать ее строго математически.

В первой части этого исследования, начатого нами еще в 1937 г., был разработан метод, позволивший быстро и без лишней точности определять наблюдаемые характеристики при разнообразных предположениях об условиях внутри звезд [1]. В результате получилась возможность разобраться в том, при каких условиях внутри звезд могут получиться характернейшие особенности наблюдаемых соотношений. Результаты этого анализа приведены во второй части работы [2]. Здесь мы укажем только общий ход рассуждений и приведем главнейшие выводы.

В настоящее время из наблюдений известны массы, радиусы и светимости (расход энергии в единицу времени) для значительного числа звезд. Зная массу и радиус, мы можем определить не только плотность звезды, но и среднюю гравитационную энергию. Следовательно, для газового шара, по теореме вириала, может быть определена и кинетическая энергия, т. е. температура внутри звезды. Светимость такого нагретого газового шара будет зависеть от температуры и от условий теплопередачи, которые в свою очередь определяются температурой и плотностью. Таким образом, и светимость звезды или средняя потеря энергии единицей массы могут быть вычислены в зависимости от массы и радиуса. Вообразим координатную систему, в которой осями служат: плотность, температура и расход энергии единицей массы. Мы видели, что каждая из этих переменных зависит от двух параметров: массы и радиуса. Поэтому в указанном пространстве звезды должны располагаться на некоторой поверхности. Теряя энергию, звезда будет охлаждаться и сжиматься, оставаясь на этой поверхности. Срок жизни такой звезды, вычисленный Гельмгольцем и Кельвином, получается слишком коротким: для Солнца около тридцати миллионов лет. В действительности же Солнце, по достоверным геологическим данным, имеет значительно больший возраст. Обычно отсюда заключают, что внутри звезд есть специальные источники энергии наподобие аккумуляторов, постепенная разрядка которых обеспечивает длительность жизни звезд. Эти источники должны выделять энергию по некоторому закону в зависимости от физических условий внутри звезды. Таким образом, данному типу источников энергии будет в рассмотренном нами пространстве физических условий соответствовать некоторая определенная поверхность. При тепловом равновесии это количество энергии должно равняться вычисленному нами выше расходу. Следовательно, звезды могут располагаться только по кривой пересечения двух построенных поверхностей. В действительности же звезды располагаются в этом пространстве не на кривой и не в объеме, что было бы при больших неточностях наблюдений, а на поверхности. Вместе с тем теоретическая кривая пересечения поверхностей должна быть выражена очень резко. Действительно, расход энергии уменьшается с увеличением плотности, образование же энергии, вообще говоря, увеличивается с плотностью. Таким образом, эти поверхности должны пересекаться весьма круто. Остается заключить, что предположение о существовании внутри звезд источников энергии, независимых от процесса охлаждения, действительности не соответствует. Внутри звезд нет специальных источников энергии, и звезды выделяют энергию по типу механизма Гельмгольца — Кельвина постепенного охлаждения и сжатия. Так как возраст звезд значительно больше времени охлаждения, мы должны признать, что, теряя энергию и сжимаясь, звезда вызывает некоторые процессы, компенсирующие эту потерю энергии. Приходится заключить, что звезда представляет собой машину, вырабатывающую энергию. Однако этот механизм работает не при всех обстоятельствах.

1) В рассмотренном нами выше пространстве физических условий существует следующее основное направление, вблизи которого возможна работа механизма энергии в громадном диапазоне состояний (от красных сверхгигантов — до белых

карликов): $\frac{B}{n}$=const, где B — плотность лучистой энергии и n — число частиц в см³.

Если входящую сюда постоянную, имеющую размерность энергии, представлять в виде $m_e c_2^2$, где m_e — масса электрона, а c_2 некоторая скорость, то для c_2 получается значение порядка 400 км/с:

$$B/n = m_e c_2^2, \quad c_2 = 400 \text{ км/с} \cong e^2/h. \qquad (1)$$

Иными словами, отношение B к n должно быть порядка энергии ионизации атомов.

2) На последовательности (1), когда средние расстояния между частицами оказываются порядка атомных размеров, получается точка (спектральный тип F_4), около которой группируется большинство звезд (главная последовательность — субгиганты, субкарлики). В плоскости B и n группировка звезд получается почти круговой. Положение центра можно определить, добавляя к (1) условие

$$v_p = c_2, \qquad (2)$$

где v_p — скорость протонов, содержание которых в звездах значительно превосходит содержание ядер других элементов.

3) Белые карлики и большие планеты [3] представляют собой тела, внутри которых материя находится на границе вырожденного состояния. В этих телах поддерживается температура, препятствующая вырождению.

С точки зрения теории строения звезд полученные выводы очень странны и неожиданны. Но они подтверждают наш основной тезис, что в Мире непрерывно действуют причины, мешающие переходу в равновесное состояние. Теперь можно сказать, что это положение распространяется на отдельные астрономические тела. Геологам уже сравнительно давно стало ясным, что жизнь Земли идет в непрерывной борьбе сжатия с расширениями. Эта борьба приводит к цикличности орогенеза, чередующегося с эпохами сравнительного тектонического покоя, когда начинают преобладать обычные силы сжатия. Для объяснения трещин и других особенностей лунного рельефа (например, знаменитой долины в Альпах) мы должны признать, что даже такое малое тело, как Луна, было неоднократно подвержено преобладающему действию этих непонятных причин, приводивших к его временному расширению [4]. Поразительно также сходство этих процессов с циклическими изменениями ряда переменных звезд. Таким образом, наши общие соображения о существовании причин, препятствующих деградации Мира, получили замечательное подтверждение. Кроме того, мы убедились, что в отдельных астрономических телах сопротивление к переходу в равновесное состояние осуществляется выделением энергии. Таким образом, сделан следующий важный шаг: неправильность следствий второго начала связана с неточной формулировкой первого начала термодинамики.

Для получения дальнейших конкретных заключений естественно обратиться к рассмотрению перечисленных выше условий, при которых происходит выделение энергии в звездах. Особенно характерно первое, главное соотношение. Это соотношение очень простое, что и должно быть для равновесных процессов. Например, выделение тепла замерзающей водой определяется простым условием: T=0 °С. Количество выделяемой при этом энергии зависит от более сложных обстоятельств теплопередачи: толщины льда и температуры наружного воздуха. Вероятно, соотношение (1) выражает условие равновесного взаимодействия материи и лучистой энергии, при котором роль кванта играет среднее количество лучистой энергии, приходящейся на одну частицу; скорость же света c_1 заменена некоторой другой скоростью c_2. Совершенно очевидно, что это соотношение не может быть объяснено обычной электродинамикой и атомной физикой.

Наше второе условие не связано непосредственно с лучистой энергией, но также содержит скорость c_2. Взаимодействие этих условий весьма своеобразно. Звезды главной последовательности более раннего типа, чем F_4, образуют с соотношением (1) одну ветвь. Звезды более позднего типа — вторую ветвь, идущую в противоположную сторону, к условию (3). Описание этих переходов требует логарифмических соотношений между физическими величинами. Все эти обстоятельства не могут быть случайными потому, что в них ощущается некоторое единство. Однако, несмотря на многолетние попытки, нам не удалось найти этот объединяющий принцип. Исследуемые результаты являются, видимо, еще слишком сложными следствиями некоторой простой причины. Суть дела должна быть непосредственно связана с главнейшим выводом, согласно которому звезда является машиной, производящей энергию.

Характер условий 1), 2) и 3) показывает, что энергия в звездах получается в результате некоторых электродинамических процессов. Однако принцип, согласно которому замкнутая система может производить энергию, должен быть настолько глубоким, чтобы заключаться и в простых законах механики. Поэтому в первую очередь должны быть поставлены следующие вопросы: каким образом замкнутая механическая система может производить энергию и откуда будет получаться эта избыточная энергия.

Для простоты будем считать, что частицы замкнутой системы описывают и замкнутые траектории. Все действующие на частицы силы приводят к закону сохранения энергии. Поэтому можно считать, что они учтены, и рассматривать движения частиц происходящим в обычном евклидовом пространстве. Из равноценности всех точек пространства следует, что различие

траекторий не может привести к различию механических свойств частиц. Следовательно, нам достаточно рассматривать любые одинаковые траектории, например, окружности. При этом возможны движения в двух противоположных направлениях, которые определим по отношению к некоторому механическому ориентиру, например силе, действующей по оси окружности. Полученные два комплекса не могут быть совмещены поворотом координатных осей. Для этого необходима перемена знака времени или зеркальное отображение.

Если законы истинной механики несимметричны по отношению к указанным преобразованиям, то должны быть различными и механические свойства наших двух комплексов. Так как кинетическая энергия не может зависеть от направления вращений, то должны быть различными только потенциальные энергии этих комплексов. Поэтому полная энергия не сохраняется и должен оказаться принципиально возможным двигатель, производящий энергию.

Несимметричность законов механики по отношению к зеркальным отображениям может иметь непосредственную астрономическую проверку. Действительно, полушария планет, разделенные плоскостью экватора, являются комплексами, имеющими различные вращения по отношению к силе тяжести. Если эти полушария имеют различные механические свойства, то фигуры планет должны оказаться несимметричными по отношению к плоскости экватора. Наши измерения фигур Юпитера и Сатурна, сопоставленные с геодезическими данными о фигуре Земли, действительно показали асимметрию: у всех планет южное полушарие оказалось более вытянутым, чем северное [5]. Этот результат прямо противоречит законам обычной механики и указывает на ее несимметричность.

Несимметричность законов механики может означать только одно, что время обладает некоторым несимметричным свойством, связанным с неравноценностью реального Мира и его зеркального отображения. Это свойство времени может быть названо направленностью или ходом. Теперь можно сказать, что из астрофизических данных следует существование направленности времени. В силу этой направленности время может совершать работу и производить энергию. Итак, звезда является только кажущимся perpetuum mobile: звезда черпает энергию из хода времени.

По-видимому, в звездах происходит компенсация не только потери энергии, но при известных обстоятельствах и потери момента вращения. Основанием к такому заключению может служить наблюдаемая в ряде случаев несинхронность орбитальных и осевых вращений тесных спектрально-двойных звезд. Синхронизация же этих вращений должна наступать в сравнительно короткие сроки из-за приливных сил при неизбежной турбулентности. Таким образом, весьма вероятно, что ход времени может не только увеличивать энергию системы, но увеличивать и ее момент.

Что собой представляет время, до сих пор еще не известно. В физике по этому вопросу существуют смутные соображения, тогда как в силу важности вопроса следовало бы иметь написанными о времени целые тома. Физик умеет измерять только продолжительность времени, поэтому для него время — понятие совершенно пассивное. Теперь мы пришли к заключению, что время имеет и другие, активные, свойства. Время является активным участником Мироздания.

На этом заканчивается индуктивная часть нашего исследования. В дальнейшем мы можем не опираться на приведенную аргументацию. В следующей главе мы постараемся обосновать и уточнить понятие хода времени, пользуясь только самыми общими представлениями о Мире, которые следуют из опытов всего естествознания и опытов жизни.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИЧИННОЙ МЕХАНИКИ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

«Наука XX столетия находится в такой стадии, когда наступил момент изучения времени, так же как изучается материя и энергия, заполняющие пространство».

Акад. В. И. Вернадский [6].

Существует глубокое различие между естествознанием и так называемыми точными науками — механикой и физикой. Естествоиспытатель постоянно ставит перед собой вопрос «Почему?» — в чем причина наблюдаемых явлений. Опыт естественных наук и повседневной жизни убеждает нас в том, что вопрос этот законный, что на него всегда должен существовать ответ. Таково свойство Мира, называемое причинностью. Благодаря этому свойству возможно познание природы. Причины должны отличаться от следствий, иначе их нельзя было бы найти. Этот принцип естествознания совершенно противоположен принципу точных наук. Сущность законов механики выражается старинной формулой «Causa aequat effectum», на которой Р. Майер основывал дедукцию закона сохранения энергии. Поэтому, хотя механика и употребляет понятия: действие и противодействие, активные и пассивные силы, но тут же оговаривается, что между этими понятиями разницы нет. Последовательное проведение этого принципа равноценности причины и следствия должно было в точных науках совершенно исключить возможность ответа на вопрос «почему?». Поэтому точные науки отвечают только на вопрос «как?» — каким образом произошла данная цепь явлений. В результате точные науки, превращаясь в самостоятельные дисциплины, должны были все более становиться науками описательными. Описание осуществляется физическими законами, точная формулировка которых позволяет широко пользоваться строгим математическим аппаратом. В этой строгости описания и заключается могущество точных наук. Разумеется, физические законы выражают существующую в Мире причинную связь явлений. Но когда постулируется принципиальная невозможность отличать причины от следствий, тогда существование законов не может быть предметом исследования и законы превращаются в описывающие явления формулы. Теоретическая физика нашего века выросла на основе этих взглядов и представляет собой яркий пример описательной точной науки. Логическое и последовательное развитие принципа равноценности причин и следствий точных наук привело Маха к построению его философии. Уже одно несоответствие этой философии всему существу нашего Мира может служить доказательством неполноценности принципов точных наук.

Постоянно встающий перед естествоиспытателем вопрос «почему?» заставляет его искать все более глубокие принципы, охватывающие возможно более широкий круг явлений. В конечном счете эти принципы должны выражать основные свойства материи, пространства, времени, а потому быть принципами механики. Совершенно естественной и закономерной была попытка ученых восемнадцатого века объяснить даже явления жизни принципами механики. Известно, что эта попытка потерпела полную неудачу. Вместе с тем этот механистический подход неправилен не в своем существе, а только потому, что принципы, установленные механикой, неполны и недостаточны для объяснения явлений Мира. Сама по себе жизнь не может наделить материю принципиальными свойствами, которых она не имеет вне организмов. Те свойства материи, которые играют основную роль в процессах жизни, могут быть мало заметны в простых механических опытах. Но эти свойства должны обнаруживаться при точных специальных исследованиях и должны быть предусмотрены законами механики. В чем заключается неполнота законов механики, представляется совершенно ясным: законы механики не выражают основного свойства причинности, заключающегося в принципиальном отличии причин от следствий. Истинная механика должна быть причинной механикой, т. е. содержать в себе принцип, позволяющий некоторым механическим опытом отличить причину от следствия. Таким образом, в основу механики должна быть положена аксиома:

I. В причинных связях всегда существует принципиальное отличие причин от следствий. Это отличие является абсолютным, независящим от точки зрения, т. е. от системы координат.

Основным понятием причинной механики должно быть понятие о силе, поскольку сила является причиной изменения состояния тел. В обычной механике оказывается возможным представление о силе заменить другим понятием — энергией, значительно упрощающим механику. Эта замена, полностью осуществленная в атомной механике, совершенно исключает различие причин от следствий, а потому и приводит к статистическому толкованию явлений Мира. Причинная же механика, основанная на различии причин и следствий, должна быть механикой сил, а не энергий.

В обычной механике причинность явлений выражается третьим законом Ньютона равенства действия и противодействия.

16 Заказ № 23

Согласно этому закону под действием внутренних сил не может произойти изменения количества движения тела, т. е. в теле не может возникнуть внешняя сила без участия другого тела. Только другое тело может быть причиной механического следствия. С точки зрения механики основным свойством тел является непроницаемость, т. е. невозможность для тел занимать одновременно одну и ту же часть пространства. Поэтому причины и следствия, будучи всегда связанными с разными телами, должны быть обязательно связанными и с разными точками пространства. Отсюда вытекает основное свойство причинности:

II. Причины и следствия всегда разделяются пространством. Расстояние между причиной и следствием может быть сколь угодно малым, но не может быть равным нулю.

Существование следствия на некотором конечном расстоянии от причины является результатом длинной цепи причинно-следственных превращений. Причина, т. е. сила, в виде импульса движущейся точки переносится из одной точки пространства в другую, где она может вызвать следствие, становящееся причиной изменений в следующих точках. В результате такой эстафеты следствие может оказаться на некотором конечном расстоянии Δx от первоначального положения причины. Этот процесс переноса импульса описывается обычной механикой. Нас же будет интересовать в причинно-следственной цепи то элементарное звено, где происходит превращение причины в следствие. Нетривиальный смысл аксиомы II заключается в том, что она в полной мере относится и к этому непосредственному превращению причины в следствие. Действительно, раз причины и следствия не могут быть совмещены, то между ними должно существовать некоторое пространственное различие, которое мы обозначим символом δx. С точки зрения математического анализа δx является размером точки и должно считаться равным нулю при обычных математических операциях, например при вычислениях длины всей причинно-следственной цепи. Для выражения условия непроницаемости материальных точек мы вынуждены пользоваться этим понятием, хотя оно и не разработано математически. Физический смысл этого понятия позволяет нам рассматривать δx как интервал более высокого порядка малости, чем бесконечно малый интервал пространства в анализе. С математической точки зрения этот подход является совершенно не строгим, но он диктуется физическим смыслом разбираемой нами задачи.

Причина и следствие всегда связаны с разными материальными точками, поэтому положение II является необходимым условием. Это обстоятельство следует подчеркнуть специальным положением:

III. Причины и следствия, возникающие в одной и той же точке пространства, различаться не могут и представляют собой тождественные понятия.

Например, во втором законе Ньютона утверждается равенство силы изменению количества движения в единицу времени. Может показаться, что силу следует рассматривать как причину, изменение же количества движения как следствие этой причины. Однако согласно положению III нельзя проводить такого различия. Эти понятия тождественны и, как делал в своей механике Кирхгоф, изменение количества движения материальной точки в единицу времени может служить определением силы, приложенной к этой точке. Таким образом, второй закон Ньютона следует рассматривать как закон описательный, как формулу, описывающую явления.

В обычной механике, пользуясь одним положением II, нельзя установить различия между причиной и следствием. Это вытекает из того обстоятельства, что знак δx зависит от системы отсчета и совершенно произволен. Теперь мы должны найти обстоятельство, которое устанавливает в Мире абсолютное отличие причин от следствий. Несмотря на большие успехи естествознания и философии, мы не можем строго определить, что такое причины и следствия, будущее и прошедшее. Мы знаем только, что эти понятия связаны между собой: следствие всегда находится в будущем по отношению к причине. Таким образом, отличие причин от следствий устанавливается свойством времени.

Из того обстоятельства, что следствие находится в будущем по отношению к причине, прежде всего вытекает следующее положение, вполне аналогичное положению III:

IV. Причины и следствия всегда разделяются временем. Промежуток времени между причиной и следствием может быть сколь угодно малым, но не может быть равным нулю.

В полной цепи причинно-следственных превращений, когда следствие оказывается на конечном расстоянии Δx от причины, следствие возникает после причины через конечный промежуток времени Δt. Отношение этих величин $\Delta x/\Delta t$ определяет скорость распространения сигнала, которая согласно специальной теории относительности не может превышать скорость распространения света c_1. В каждом элементарном звене, где причина и следствие разделяются элементом пространства δx, должен существовать и элемент различия времени δt. Понятие δt во всем совершенно сходно с понятием δx. Иными словами, δt представляет собой временную точку, которую из-за существования различия между причиной и следствием мы не можем считать равной нулю. Если, например, причина возникает в самом конце первой секунды, то следствие возникает в самом начале второй секунды и т. д. Для подсчета промежутка времени в полной причинно-следственной цепи мы поступим совершенно точно, если положим сумму всех δt равной нулю и будем подсчитывать только время распространения импульса. Таким образом, введением величин δt и δx мы нисколько не

изменяем обычных подсчетов скорости распространения импульса.

Положение IV опирается на существование у времени простейшего свойства, которое может быть названо скалярным или пассивным. Это свойство позволяет устанавливать длительность событий или длину временных промежутков, измеряемых показаниями часов. Основные понятия кинематики — скорость, ускорение и другие — определяются с помощью именно этого свойства времени. Однако этим свойством времени нельзя установить различия между причиной и следствием. Действительно, как и для пространства, знак промежутка времени зависит от принятой системы счета и поэтому совершенно произволен. Необходимо отметить, что система счета времени не может быть фиксирована и с помощью направленности энтропии. Действительно, переход механической системы в более вероятное состояние, т. е. возрастание энтропии, происходит благодаря идущему в Мире непрерывному раздроблению причин: причины переходят в следствия, которые становятся причинами других следствий и т. д. Поэтому эта система счета времени, сама основанная на определении причин и следствий, не может дать ничего нового и приводит к тавтологии: будущее находится там, где следствие, т. е. там, где будущее.

Со времен Ньютона в теоретической механике и физике принято считать, что у времени есть только одно пассивное свойство. Из существования же различия причин и следствий мы вынуждены заключить, что у времени есть еще некоторое особое свойство.

Это свойство времени заключается в отличии будущего от прошедшего и может быть названо направленностью или ходом. Наше психологическое ощущение времени и есть восприятие объективно существующего в Мире хода времени. Весьма интересно, что акад. В. И. Вернадский в своих обобщениях вопросов естествознания пришел к заключению: «...время натуралиста не есть геометрическое время Минковского и не время механики и теоретической физики, химии, Галилея или Ньютона» [6]. Мы видим, что эти слова глубоко справедливы. Действительно, для натуралиста, как и в обыденной жизни, первостепенное значение имеет направленность времени, понятие, которым совершенно не пользовались точные науки. Теперь мы можем формулировать следующее положение:

V. Время обладает особым, абсолютным свойством, отличающим будущее от прошедшего, которое может быть названо направленностью или ходом. Этим свойством определяется отличие причин от следствий, ибо следствия находятся всегда в будущем по отношению к причинам.

Это последнее положение вводит в механику новое физическое понятие — ход времени. Свойства этого понятия должны быть подробно изучены опытом. Но чтобы знать, как поставить опыт, необходимо уже иметь некоторое общее представление об этом новом понятии. Покажем теперь, что ряд свойств хода времени может быть получен логически из анализа сформулированных нами аксиом причинности.

Следует ожидать, что ход времени нашего Мира определяется некоторой универсальной постоянной определенного знака. При другом ходе времени эта постоянная должна быть иной и может даже иметь другой знак. Ход времени должен быть определен по отношению к некоторому инварианту. Из наших аксиом следует, что ход времени может быть определен по отношению к пространству. Действительно, из сопоставления второй и четвертой аксиомы заключаем, что будущее и прошедшее всегда разделены сколь угодно малым, но не равным нулю промежутком пространства. Таким образом направленность времени может быть определена как направление в пространстве. Из положений третьего и четвертого следует, что различие будущего от прошедшего δt стремится к нулю при $\delta x \to 0$. Это означает существование связи между δt и δx, которая при достаточно малом δx должна иметь вид

$$\delta t = \frac{1}{c_2}\,\delta x. \qquad (3)$$

Так как различие будущего от прошедшего δt выражается единицами времени, то c_2 представляет собой постоянную, имеющую размерность скорости. Значок у c_2 поставлен, чтобы отличать эту постоянную от c_1 — скорости света, являющейся согласно специальной теории относительности основной характеристикой скалярного времени. Постоянная c_2 является как бы скоростью превращения причины в следствие и может служить мерой хода времени. Будем называть ходом времени саму величину c_2, а не обратную ей: чем больше c_2, тем меньше промежуток времени, отвечающий одному и тому же интервалу пространства, и, следовательно, тем быстрее идет время.

Из положения V следует, что ход времени должен определяться универсальной постоянной. Поэтому постоянная c_2 не должна зависеть не только от координат точек и момента, когда происходят явления, но и от физических свойств тел, с которыми связаны причины и следствия. Положение V утверждает еще, что ход времени имеет определенный знак, инвариантный для всего Мира. Таким образом, постоянная c_2 должна иметь определенный знак, независящий от системы счета δx и δt. Иными словами, в формуле (3) требуется инвариантное согласование знаков. Знаки у δx и δt, входящих в формулу (3), совершенно произвольны и, кроме того, не могут зависеть друг от друга. Это следует, например, из того, что при возможном абсолютном различии знаков δt не может быть абсолютного различия в пространственных направлениях, т. е. в знаках δx, поскольку пространство не имеет таких свойств. Поэтому

согласованность знаков в формуле (3) возможна только в том случае, когда при изменении знака δt или δx меняется и знак c_2. Совместить перемену знака c_2 при изменении знака δx с условием инвариантности можно только одним способом: постоянная c_2 должна быть псевдоскаляром, т. е. скаляром, меняющим свой знак при переходе от правой системы координат к левой и обратно. В этом случае δt должно быть псевдовектором.

Покажем, что формула (3) не будет зависеть и от системы счета δt при условии, что δt является псевдовектором, ориентирующим плоскость, перпендикулярную к оси причина — следствие. Действительно, изменим в формуле (3) направление оси X, т. е. знак δx, сохраняя ориентацию плоскости (YZ), а следовательно, и знак δt. Так как при этом изменился тип координатной системы, то псевдоскаляр c_2 должен переменить знак и обе части равенства (3) останутся согласованными. Повернем теперь всю координатную систему так, чтобы изменилось на обратное направление оси X. Тогда изменится на противоположную ориентация плоскости (YZ), т. е. знак δt, и, как видно из формулы (3), c_2 не изменит знака. Точно так же при неизменном направлении оси X, изменив счет времени на обратный, мы изменим ориентацию плоскости (YZ) и, следовательно, знак псевдоскаляра c_2. Итак, исходя из аксиом причинности, мы пришли к следующему основному выводу:

1. Мировой ход времени определяется универсальным псевдоскаляром c_2, имеющим размерность скорости.

Теоретическая механика и физика пользуются скалярными величинами только первого рода или просто скалярами. Теперь мы должны ввести в механику псевдоскаляр c_2. Обращаясь к известным универсальным постоянным, мы немедленно убеждаемся в том, что единственной постоянной, которую можно считать псевдоскаляром, является постоянная Планка h. Действительно, эта постоянная, имеющая размерность момента количества движения, определяет спин элементарных частиц и все моменты количества движения в атоме. Для соблюдения квантовых условий при переходе от правой системы координат к левой естественно считать, что при таком переходе меняется и знак постоянной Планка, т. е. что она является псевдоскаляром. Теперь, с помощью h и другой физической постоянной, заведомо имеющей свойства простого скаляра, можно образовать постоянную с размерностью скорости. Легко убедиться, что существующая возможность выбора приводит к единственной комбинации, однозначно определяющей псевдоскаляр c_2:

$$c_2 = \alpha \frac{e^2}{h} = \alpha \cdot 350 \text{ км/с}, \qquad (4)$$

где через e обозначен заряд элементарной частицы. Числовой коэффициент α представляет собой безразмерный множитель,

с точностью до которого мы определили величину c_2. Следует ожидать, что неточность, связанная с этим безразмерным множителем, не может изменить порядок величины c_2. В действительности из опытов, о которых мы будем говорить впоследствии, можно заключить, что $\alpha \cong 2$. Весьма знаменательно, что постоянная, численно равная c_2, определяет условия (1) и (2) образования энергии в звездах. Знаменитая безразмерная постоянная тонкой структуры оказывается отношением c_2 и c_1, т. е. отношением основных характеристик двух свойств времени. При таком понимании постоянной тонкой структуры становится естественным и совершенно не удивительным существование этой безразмерной постоянной. Полученная оценка величины c_2 (4) позволяет предвидеть размеры эффектов причинной механики, которые должны быть на много порядков больше эффектов теории относительности.

Произведем в формуле (4) предельный переход: $h \to 0$; тогда $c_2 \to \infty$ и согласно формуле (3) δt всегда будет равным нулю. Этот случай соответствует обычной механике, в которой отсутствует четвертая аксиома, т. е. δt всегда предполагается равным нулю. Таким образом, пренебрегая постоянной Планка, мы, как и в атомной механике, переходим к законам обычной механики. Другой предельный случай получается, когда постоянная Планка начинает играть очень большую роль. Этот случай соответствует атомной механике, для которой по формуле (4) получается $c_2 = 0$. При этом по формуле (3) δx всегда равно нулю. В этом случае согласно аксиоме III причины и следствия сливаются в тождественные понятия, что и является существом атомной механики.

Формулируем теперь наши заключения:

2. Мировой ход времени c_2 с точностью до безразмерного множителя порядка единицы равняется универсальному псевдоскаляру e^2/h, имеющему размерность скорости. Знак хода времени должен быть определен опытом.

Покажем, что знак хода времени позволяет абсолютно определить понятия правое и левое. Геометрия различает правое от левого только относительно, и сама по себе геометрия не может определить, что называется правым и что называется левым. Поясним это следующим примером, заимствованным у Гаусса [7]. Вообразим два существа, изолированных настолько, что нет даже ни одного предмета, который они оба когда-либо видели. Допустим, что они могут сообщать друг другу свои мысли и свои наблюдения над Миром. Каждый из них может построить систему геометрии, причем они смогут договориться и согласовать все геометрические определения. Они обнаружат, что существуют с равными элементами несовместимые тела и таким образом придут к необходимости отличать правое от левого. Но согласовать свои определения правого и левого они не смогут. Для этого необходимо общее

тело, т. е. материальный мост между ними. Так будет обстоять дело, пока наши воображаемые существа занимаются только геометрическими построениями. Но коль скоро они перейдут к изучению механических и других явлений природы, благодаря ходу времени они должны обнаружить объективное отличие правого от левого и суметь договориться об их определении. Действительно, как мы видели, законы механики должны содержать псевдоскаляр c_2. Поэтому, производя некоторые опыты, можно установить знак c_2, т. е. установить, в какой системе координат — правой или левой — постоянная c_2 имеет положительное значение. Отсюда получается возможность договориться об определении правого и левого. Таким образом, существующий ход времени, даже при полной изоляции, связывает все тела в Мире и играет роль того материального моста, о необходимости которого говорил Гаусс. Поэтому можно формулировать следующий вывод:

3. Существующий в Мире ход времени устанавливает в пространстве объективное отличие правого от левого.

Изумительным является то обстоятельство, что в природе действительно имеются бросающиеся в глаза объективные отличия правого от левого. Эти отличия давно известны в органическом мире. Морфология животных и растений дает многочисленные примеры упорной, передающейся по наследству асимметрии [8]. Например, у моллюсков в подавляющем числе случаев раковины закручены в правую сторону. Преобладание определенной симметрии наблюдается и у микробов, образующих колонии спиральной структуры. У высокоорганизованных существ асимметрическое положение органов всегда повторяется, например сердце у позвоночных, как правило, расположено слева. Подобная асимметрия существует и у растений; например, в предпочтительности левых спиралей у проводящих сосудов.

В середине прошлого века Луи Пастер открыл асимметрию протоплазмы и рядом замечательных исследований показал, что асимметрия является основным свойством жизни. В неорганической природе стереоизомеры образуют рецематы, т. е. смеси с одинаковым количеством правых и левых молекул. В протоплазме же наблюдается резкое неравенство правых и левых форм. Воздействие на организм правых и левых изомеров часто весьма различно. Так, например, левовращающая глюкоза почти не усваивается организмом, левый никотин более ядовит, чем правый, и т. п. В настоящее время все эти вопросы составляют большую научную проблему [9], на которой мы не можем останавливаться. Для нас важна принципиальная сторона дела: асимметрия может иметь физический смысл только при существовании направленности времени, поэтому асимметрия жизни доказывает существование направленности у времени, т. е. несимметричности истинной механики. Существование направленности времени как некоторой физической реальности вытекает даже просто из самой возможности жизни. Действительно, существо жизни заключается в процессах, направленных против возрастания энтропии. Это означает, что в организмах в некоторых процессах ход времени может отличаться от мирового хода времени. Поэтому подобно астрофизическим данным точные биологические опыты должны показать в процессах жизни нарушение обычного баланса энергии из-за использования жизнью мирового хода времени.

Рассмотрим еще следующий вопрос: каков должен быть Мир, в котором течение времени противоположно нашему? Изменить знак хода времени это значит изменить знак постоянной c_2 в той же системе координат. Так как законы механики должны быть одинаковыми, коль скоро c_2 имеет тот же знак и то же значение, то механика Мира с обратным течением времени должна быть тождественна механике нашего Мира с противоположной ориентацией координат. Противоположная ориентация получится при зеркальном отображении. Итак, мы приходим к теореме, выражающей сущность нашей механики:

4. Мир, в котором течение времени противоположно нашему при условии действия тех же сил, должен быть равноценен нашему Миру, отраженному в зеркале.

В зеркально отраженном Мире полностью сохраняется причинность. Поэтому в Мире с противоположным течением времени события должны развиваться столь же закономерно, как и в нашем Мире. При любом течении времени человек будет ходить, как обычно, лицом вперед. Таким образом, Мир с обратным течением времени не является, как полагают часто, кинофильмом нашего Мира, пущенным в обратную сторону. Действительно, в таком кинофильме причинность нарушена, и он не может представлять реально возможного физического Мира. Благодаря направленности времени зеркально отраженный Мир по своим механическим свойствам должен отличаться от нашего Мира. Представим себе, что мы в зеркале наблюдаем лабораторию, в которой производятся некоторые механические опыты. Зеркало изготовлено столь искусно, что мы не можем этого заподозрить. Однако, следя за результатами некоторых специальных опытов лаборатории, мы должны будем заметить, что они противоположны следствиям причинной механики. Таким образом, у нас всегда будет возможность отличить подлинную лабораторию от лаборатории, отраженной в зеркале. Обычная же механика утверждает невозможность подобного заключения. Ошибочность этого принципа в настоящее время доказана начатыми по инициативе Ли и Янга исследованиями, установившими нарушение принципа сохранения четности в ядерных процессах при слабых взаимодействиях. Учитывая же процессы жизни, этот принцип опровергается элементарными наблюдениями. Действительно, следя за лицами, которые

в отраженной лаборатории производят опыты, можно сразу заметить, что они работают левой рукой, имеют необычайное расположение органов, а потому нереальны. Надо думать, что такими людьми стали бы мы при обратном течении времени, если только при этом будут сохранены силовые поля нашего Мира.

После сделанного отступления возвратимся к выяснению дальнейших свойств хода времени. Все причинно-следственные связи Мира характеризуются универсальным псевдоскаляром c_2. Всякая конкретная причинно-следственная связь определяется еще пространственным направлением, орт которого обозначим через i. Таким образом, с причинно-следственными отношениями должны быть связаны псевдовекторы хода времени ic_2. Обстоятельство, согласно которому ход времени определяется псевдовекторами, может иметь еще следующее пояснение. Векторы хода времени должны быть направлены некоторым определенным образом в зависимости от положения причины и следствия. Представим теперь, что ход времени во всем Мире изменил знак на обратный, расположение же причин и следствий в пространстве осталось неизменным. Из первого условия вытекает, что эти векторы должны изменить знаки, из второго же, что они сохранили свое направление. Геометрия дает единственную возможность согласования этих требований: ход времени представляет собой псевдовекторы, а при изменениях знака хода времени мы просто должны пользоваться другим типом ориентации координатных систем.

Докажем теперь, что для причины и следствия псевдовекторы хода времени ic_2 должны иметь разные знаки, т. е. быть прямо противоположными. Действительно, следствие находится в будущем по отношению к причине, а причина в прошедшем по отношению к следствию. Поэтому знаки δt для причины и следствия должны быть противоположными. Иными словами, перенося точку зрения из причины в следствие, мы меняем знак у δt, т. е. переходим к противоположной ориентации плоскости, перпендикулярной к оси причина — следствие. Теперь легко убедиться в том, что каким бы путем ни был определен орт i, псевдовектор ic_2 должен менять знак при переходе от причины к следствию. В самом деле, при фиксированном i будет меняться тип координатной системы при переходе от причины к следствию. В результате постоянная c_2 должна изменить знак, а следовательно, и вектор ic_2. Если же при переходе от причины к следствию менять знак i, то знак c_2 останется неизменным. Поэтому и в этом случае псевдовектор ic_2 изменит свой знак. Отсюда получается вывод:

5. Ходом времени каждой причинно-следственной связи является реальный физический процесс, который представляется псевдовектором ic_2, имеющим для причины и следствия противоположные направления.

Итак, время обладает следующими двумя свойствами: 1) свойство скалярное, которое выражается существованием промежутков времени $|\Delta t|$ и 2) свойство векторное, которое представляется псевдовекторами хода времени $\pm ic_2$. Ход времени как реальный физический процесс, приводящий с точки зрения причины к существованию псевдовектора одного знака, а с точки зрения следствия — псевдовектора другого знака, равноценен вращению причины относительно следствия с линейной скоростью c_2, или наоборот. Объяснение это формально является совершенно точным. Однако возникает естественный вопрос, в чем сущность этого явления и как можно наглядно себе представить вращение двух заведомо неподвижных точек с конечной линейной скоростью. На этот вопрос мы не можем сейчас ответить. Но можно надеяться, что это явление станет яснее в результате опытных и последующих теоретических исследований. Поэтому нам остается пока пользоваться только формальным представлением о ходе времени как об относительном вращении причин и следствий.

Представим себе, что причина и следствие связаны с двумя материальными точками, действительно находящимися в относительном вращении. Иными словами, допустим, что мы имеем дело с волчками, которые будем считать идеальными. Под идеальным волчком следует понимать тело, вся масса которого расположена на некотором неизменном расстоянии от оси. При вращении воздействие такого тела на тело, вращающееся с другой скоростью, может осуществляться через материальную ось и материальные связи с этой осью, массы которых столь малы, что их можно полагать равными нулю. Тогда взаимодействие этих идеальных волчков будет равносильно взаимодействию двух точек, имеющих массы волчков. С точки зрения каждой из этих точек можно с полной определенностью говорить о вращении другой точки, т. е. указать плоскость, величину линейной скорости u и направление вращения. Таким образом, каждой точке можно сопоставить псевдовектор относительного вращения ju, где j — единичный вектор, перпендикулярный к плоскости вращения. Согласно обычному условию псевдовектор ju направлен в правой системе координат туда, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки. Можно считать j обычным вектором, а величину u — псевдоскаляром. Если, например, условиться откладывать j независимо от типа координатной системы в сторону, откуда вращение происходит против часовой стрелки, то u будет псевдоскаляром, положительным в правой системе координат. Легко видеть, что в результате относительных вращений для причины и следствия будут существовать дополнительные псевдовекторы $\pm ju$ противоположных знаков. Эти псевдовекторы имеют совершенно те же свойства, что и псевдовекторы $\pm ic_2$ обычных причинных связей. Во всяком случае в линейном приближении

такие величины обычно складываются между собой. Поэтому можно предположить следующее свойство хода времени, которое должно быть проверено опытом:

6. Ход времени вращающихся тел отличается от обычного хода времени тем, что к обычному ходу времени геометрически добавляется относительная линейная скорость этих вращений.

Если это положение справедливо, то для вращающихся тел следует ожидать относительного изменения обычного псевдовектора хода времени по его направлению на величину $(u/c_2)\cos\alpha$, где α — угол (i, j). Следует также ожидать аберрацию направления причинной связи на угол ψ; $\operatorname{tg}\psi = (u/c_2)\sin\alpha$.

Теперь становится понятным, что для выяснения свойств хода времени необходимо производить опыты с вращающимися телами — волчками. Чтобы разобраться в том, какие механические эффекты хода времени должны наблюдаться в опытах с волчками, мы должны в первую очередь уточнить определения причин и следствий в механике. Для этого от кинематических понятий надлежит перейти к понятиям динамики и статики.

ГЛАВА III

НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ ПРИЧИННОЙ ДИНАМИКИ И СТАТИКИ

Силы являются причинами, вызывающими изменения конфигурации и изменения количества движения тел. Изменение в расположении тел приводит к возникновению сил деформации. Изменение же количества движения в единицу времени, взятое с обратным знаком, согласно Даламберу можно рассматривать как силу инерции, прибавление которой к обычным силам сводит задачу динамики к задаче статики. При таком представлении действующие на систему силы всегда уравновешены, и добавление новых сил должно обязательно вызывать появление некоторых других сил. Поэтому в механике силы могут считаться и причинами, и всеми возможными следствиями. В соответствии с обычной терминологией причины будем называть активными силами. Допустим, что к некоторой материальной точке (1) приложены активные силы, равнодействующую которых обозначим через A. Действие этих активных сил может быть передано некоторой другой точке (2). Это действие силы A на точку (2), т. е. пассивную силу, возникающую в точке (2) благодаря силе A, приложенной к точке (1), обозначим через Φ. Можно сказать, что точка (1) является причиной возникновения силы в точке (2). Согласно выводу 5 предыдущей главы этой причинно-следственной связи соответствует в точке (2) псевдовектор хода времени ic_2. Таким образом, с силой Φ оказывается связанным псевдовектор ic_2. Но этому псевдовектору обязательно сопутствует псевдовектор $-ic_2$ для причины, т. е. в точке (1). Поэтому в точке (1) мы должны иметь тот же результат, т. е. ту же силу, что и в точке (2), но только действующую в противоположную сторону. Получается вывод:

1. При действии первой точки на вторую псевдовекторный ход времени обязательно устанавливает противодействие, т. е. равное и противоположно направленное действие второй точки на первую.

Этот вывод совпадает с третьим законом Ньютона. Таким образом, третий закон Ньютона вытекает из свойств хода времени. С помощью этого закона можно определить интересующую нас величину действия Φ, исходя из условия равновесия точки (1):

$$A + R - \frac{dm_1 v}{dt} = 0, \tag{5}$$

где R — сила реакции, т. е. обратное действие точки (2) на точку (1). В случае чистой статики $R = -A$ и согласно третьему закону Ньютона $\Phi = A$. В динамике возникает вопрос, активной или пассивной силой следует считать силу инерции

$-\frac{dm_1v}{dt}$. Сила инерции, направленная против активных сил, возникает только благодаря этим силам, поэтому она не отличается от активных сил и должна быть к ним прибавлена. В этом случае получается $\Phi=A-\frac{dm_1v}{dt}$. Отсюда при свободном движении точки (1) имеем очевидный результат: $\Phi=0$, т. е. отсутствие действия на другие точки. Если теперь сила инерции направлена против сил реакции, то она вызывается этими силами, от них не отличается и должна быть к ним прибавлена. Поэтому реакцией на активную силу будет не R, а выражение $R-\frac{dm_1v}{dt}=-A$. Следовательно, действие активной силы на точку (2) будет тем же, что и в статике: $\Phi=A$. Запишем эти выводы следующим образом:

$$1.\ |A|\geqslant|R|;\quad \Phi=A-\frac{dm_1v}{dt}. \qquad (6)$$

$$2.\ |A|\leqslant|R|;\quad \Phi=-\left(R-\frac{dm_1v}{dt}\right)=A.$$

Из этих формул следует, что при равенстве нулю активных сил ($A=0$) равны нулю и следствия ($\Phi=0$). Поэтому при соударении двух шаров, на которые не действуют внешние силы, т. е. отсутствуют причины, должны отсутствовать и следствия, несмотря на существование реакций.

Активные силы могут быть приложены и к точке (2). Тогда действие этих сил на точку (1) можно вычислить с помощью тех же выражений (6), написанных для точки (2).

Перейдем теперь к вопросу о согласовании действия и противодействия с псевдовекторами хода времени. Согласно формулам (6) направление действия совпадает с линией, соединяющей причины и следствия, т. е. с пространственным положением псевдовекторов времени. С другой стороны, ход времени должен указывать направление к будущему, а поэтому совпадать с направлением действия активной силы, орт которой обозначим через i. Тогда ход времени в точке (2), т. е. вектор ic_2, будет согласован с действием силы при условии, что мы пользуемся системой координат, в которой псевдоскаляр c_2 имеет положительное значение. Это согласование ic_2 и Φ означает, что

$$\Phi=ic_2|J|, \qquad (7)$$

где $|J|$ — некоторый положительный скалярный коэффициент. В точке (1) ic_2 меняет знак, и по формуле (7) на эту точку будет действовать сила реакции $R=-\Phi$. При остановившемся

времени, т. е. при $c_2=0$, действия всех сил должны отсутствовать. Этот результат получается непосредственно из формулы (7). Поэтому скалярный коэффициент $|J|$, по крайней мере в первом приближении, должен быть инвариантным, т. е. независящим от хода времени.

Рассмотрим случай, когда точка (1), на которую действует активная сила, представляет собой идеальный волчок, вращающийся со скоростью ju относительно точки (2). Как было указано в конце предыдущей главы, для определенности можно считать орт j направленным по оси в ту сторону, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки, если пользоваться системой координат, связанной со второй точкой. Тогда u будет псевдоскаляром, положительным в правой системе координат.

Начнем исследовать вопрос о действии волчка на невращающееся тело с простейшего случая, когда ось волчка совпадает с линией действия силы. Примером может служить действие тяжелого волчка с вертикальной осью на неподвижную опору. В этой задаче псевдовекторы $\pm ju$ совершенно аналогичны псевдовекторам хода времени $\pm ic_2$. Поэтому в рассматриваемой системе ходом времени должна быть величина $\pm(ic_2+ju)$. Подставляя это выражение вместо ic_2 в формулу (7), находим

$$\Phi_u=(ic_2+ju)|J|.$$

Поскольку $|J|=|\Phi|/c_2$, окончательно имеем

$$\Phi_u=\Phi+j\frac{u}{c_2}|\Phi|, \qquad (8)$$

$$R_u=R-j\frac{u}{c_2}|\Phi|.$$

Под действием дополнительных сил $\pm j\frac{u}{c_2}|\Phi|$ равновесие системы будет нарушено. Новое равновесие волчка получится, когда в результате перемещения точек волчка упругие силы станут давать реакцию R', при которой

$$R'_u=R'-j\frac{u}{c_2}|\Phi|=R.$$

Таким образом,

$$R'=R+j\frac{u}{c_2}|\Phi|. \qquad (9)$$

Упругие силы, обусловливающие реакцию, являются следствием тяжести. Их изменение может быть вызвано только

изменением причины или веса волчка. Поэтому наблюдаемая упругость означает, что активная сила изменилась и стала равной = .* Тогда из формулы (9) следует

$$A' = A - j\frac{u}{c_2}|\Phi|. \quad (10)$$

Эта активная сила будет оказывать действие на опору:

$$\Phi' = \Phi - j\frac{u}{c_2}|\Phi|.$$

Подставляя это значение действия вместо Ф в формулу (8), найдем, что полное действие на опору остается прежним:

$$\Phi_u' = \Phi' + j\frac{u}{c_2}|\Phi| = \Phi. \quad (11)$$

Из полученных формул преобразования сил (9)—(11) следует вывод:

2. При действии тяжелого вращающегося волчка на опору вес его изменяется при соответствующем изменении деформации. Действие же волчка на опору остается прежним.

Этот эффект можно наглядно представить себе следующим образом. Вообразим бесчисленное количество невесомых пружинок, скрепленных с опорой и действующих на каждую материальную точку волчка в направлении оси вращения. В зависимости от того, растянуты или сжаты пружинки, получится увеличение или уменьшение веса волчка, которое, однако, нельзя обнаружить обычным взвешиванием, так как давление волчка на чашку весов останется неизменным. Эта неизменность действия тяжелого волчка на опору получается из-за того, что и при вращении выполняется третий закон Ньютона, вытекающий из двухсторонности псевдовекторов хода времени. Двухсторонность же соблюдается и при вращении. Таким образом, ход времени не может изменить общего количества движения системы, т. е. создать внешнюю силу по отношению к системе причина — следствие. Силы, возникающие благодаря ходу времени, являются всегда внутренними, равными и противоположно направленными силами. Это положение столь важно, что мы сочли необходимым подтвердить его точными опытами, которые будут подробно описаны в главе V. Укажем сейчас только общее содержание этих опытов и полученный результат.

Первый опыт заключался во взвешивании волчка на рычажных весах при скоростях вращения $u \cong 50$ м/с. Если бы вопреки нашим заключениям действие волчка на весы менялось при вращении, то относительные эффекты хода времени должны были бы быть порядка u/c_2, т. е. порядка 10^{-4}, или составлять,

* В оригинале пропуск.

по крайней мере, несколько единиц пятого знака. Опыты показали, что сила, действовавшая на весы при вращении, не менялась с точностью до одной миллионной. Важно отметить, что при этих опытах, когда подвес передавал дрожания волчка коромыслу весов, были замечены очень интересные эффекты изменения показаний весов, зависевшие от направления вращения. Эти наблюдения впервые убедили нас в существовании механических эффектов хода времени. Так как замеченные эффекты были связаны с дрожанием волчка, то мы сочли необходимым поставить опыт взвешивания подвижного волчка на эластичном подвесе. Показания весов при бросаниях и подъемах вращающегося волчка оказались неизменными. Этот опыт особенно наглядно устанавливает справедливость закона сохранения импульса и для вращающихся тел. Формулируем вывод:

3. Силы всегда связаны только с материальными телами, и изменение хода времени не может изменить импульса системы. Иными словами, ход времени не переносит импульса.

Изменение активной силы, действующей на волчок, можно обнаружить по изменению деформации волчка при вращении. В тех случаях, когда отличие активных сил от пассивных не вызывает сомнений, этими опытами по формуле (10) можно установить знак мирового хода времени c_2. Действительно, из этой формулы следует, что уменьшение активной силы происходит в том случае, когда вектор $j(u/c_2)$ совпадает с направлением активной силы. Поскольку $c_2 > 0$, уменьшение активной силы произойдет, когда вектор вращения ju будет направлен по активной силе. Допустим теперь, что мы наблюдали уменьшение активной силы при некотором вращении волчка. Из этих наблюдений мы устанавливаем, в какой системе координат вектор вращения совпадает с направлением активной силы. В этой системе координат постоянная c_2 и будет иметь положительное значение.

В следующих двух главах содержится описание некоторых эффектов хода времени, которые можно наблюдать на поверхности Земли и других планет, а также при лабораторных опытах с гироскопами. Основной, качественный, результат этих наблюдений заключается в том, что уменьшение веса волчка происходит при вращении его по часовой стрелке, если смотреть со стороны, в которую направлена тяжесть волчка. Обычными методами естествознания бесспорно устанавливается, что тяжесть является активной силой. Поэтому эти опыты выясняют, что псевдовектор вращения ju направлен по активной силе в левой системе координат. Таким образом, мы получаем знак хода времени, одну из самых основных характеристик нашего Мира:

4. Определенный опытом знак хода времени нашего Мира положителен в левой системе координат. Это означает уменьшение активной силы, приложенной к телу, при вращении его

по часовой стрелке, если смотреть со стороны действия активной силы.

Если формулу (4) рассматривать как определение постоянной Планка, то знак этой постоянной должен быть тоже положительным в левой системе координат. В разобранном выше примере Гаусса оба изолированных существа всегда связаны между собой единым мировым ходом времени. Очевидно, что, пользуясь выводом 4, они смогут легко согласовать свои определения правого и левого. Для этого им достаточно условиться, что вращением слева направо, если смотреть со стороны любой активной силы, называется вращение, при котором происходит уменьшение этой силы. Точно так же, наблюдая лабораторию в зеркале, можно обнаружить, что в этом случае знак хода времени положителен в правой системе координат и этим путем установить нереальность наблюдаемой лаборатории.

Теперь, когда известен знак c_2, можно механическими опытами отличать активную силу от пассивной, т. е. причину от следствия. Если, например, при вращении тела наблюдается уменьшение сил, то активной будет сила, направленная туда, откуда вращение кажется происходящим по часовой стрелке. Этим обстоятельством выполняется основное требование, предъявляемое нами к механике:

5. Активную силу от пассивной, или причину от следствия, всегда можно отличить механическим опытом. Поэтому принципиально возможен прибор, показывающий положение причин и следствий.

В технике разыскание причин требует интуиции инженера. Поэтому существование принципиальной возможности находить причину механическим образом может представлять для техники большой интерес.

При относительном вращении системы взаимодействующих тел в этой системе возникают дополнительные внутренние силы. Эти силы нарушают первоначальное равновесие системы. Поскольку равновесное состояние является состоянием с минимальной энергией, всякое нарушение равновесия означает увеличение энергии системы. С прекращением вращения система каждый раз будет возвращаться к равновесному состоянию с добавочной (кинетической) энергией. Отсюда следует вывод:

6. Энергия системы тел, находящихся в равновесии, может только увеличиваться при любом изменении относительных вращений тел, составляющих систему. Таким образом, принципиально возможен двигатель, использующий ход времени для получения работы. Иными словами, время обладает энергией.

Рассмотрим теперь случай, когда система не находится в равновесии и обладает кинетической энергией. Тогда при изменении относительных вращений возможно появление сил, действующих против скорости, которые, подобно трению, могут уменьшить кинетическую, а следовательно, и полную энергию системы. Например, силами хода времени можно остановить колебание системы, если вводить их так, чтобы они действовали против скорости колебаний.

7. Энергия системы тел, которые не находятся в равновесии, может быть не только увеличена, но и уменьшена изменением хода времени. Поэтому возможен обратный процесс перехода энергии системы в ход времени.

Ввиду исключительной важности этих следствий разберем простейший конкретный пример двигателя, работающего на изменении хода времени. Допустим, что волчок с вертикально расположенной осью опирается на некоторое жесткое основание и имеет следующее устройство. Тяжелое кольцо с массой m лежит на упругой, невесомой пружине, коэффициент упругости которой равен k. Соединение с осью вращения осуществляется только в нижней части этой пружины. При вращении в ту или иную сторону должны возникнуть две дополнительные силы. Одна сила, как и вес волчка, приложена к центру тяжести кольца. Другая сила, парная ей по третьему закону Ньютона, будет приложена к опоре, благодаря чему действие волчка на опору не зависит от состояния вращения. Эти силы растянут или сожмут пружину и сообщат ей дополнительную потенциальную энергию ΔE, которую по формулам (10) и (6) можно представить в виде

$$\Delta E = \frac{(\Delta F)^2}{2k} = \frac{(g-w)^2 m^2}{2k}\left(\frac{u}{c_2}\right)^2 = \frac{(g-w)^2 mT^2}{8\pi^2}\left(\frac{u}{c_2}\right)^2, \quad (12)$$

где g — ускорение силы тяжести, w — вертикальное ускорение кольца и $T=2\pi\sqrt{m/k}$ — период собственных колебаний пружины. Допустим, что наш волчок с помощью некоторого устройства без потери энергии периодически меняет направление вращения. Для простоты положим, что этот период совпадает с периодом собственных колебаний пружины. Тогда по формуле (12) легко получить среднее количество энергии, которое будет получать наша система в единицу времени:

$$\overline{\frac{dE}{dt}} = \frac{mg^2T}{8\pi^2}\left(\frac{\bar{u}}{c_2}\right)^2. \quad (13)$$

Здесь $\bar{u}$ — некоторая средняя абсолютной величины линейной скорости вращения и принято $w \ll g$. Возьмем следующие данные: $m=1$ кг, $T=1$ с, $\bar{u}=30$ м/с, тогда $\overline{dE/dt} \cong 0{,}1$ эрг/с.

Производительность нашего двигателя очень мала.

Действительно, только одна энергия вращения системы составляет около 10^8 эрг. Поэтому если трение устранено настолько, что система может колебаться по инерции несколько лет, то только тогда ежесекундная потеря энергии будет

порядка прихода. Мы видим, что практическое осуществление «машины времени» с помощью волчков едва ли возможно. В лабораторных масштабах роль эффектов времени получается совершенно ничтожной. Но в таких огромных телах, какими являются звезды и планеты, эффекты времени могут иметь решающее значение. Проблема источников энергии небесных тел может быть вполне решена этим путем. Действительно, огромная потеря энергии, происходящая на поверхности звезды, соответствует очень небольшому расходу, отнесенному к единице массы звезды. Так, например, для соблюдения теплового баланса каждый грамм вещества внутри Солнца должен выделять только 1,9 эрг/с. Приведенный нами выше расчет мощности двигателя времени показывает, что в масштабах Солнца вполне возможны процессы, при которых из хода времени будет извлекаться достаточное количество энергии. Скорее всего, эти процессы будут связаны не с простой механикой, а с электродинамикой. Напряжение магнитного поля является псевдовектором, а потому псевдовектор хода времени может и в электродинамике приводить к новым силам, создающим избыточную энергию. Можно думать, что не механика, а именно несимметричная электродинамика позволит практически осуществить двигатель времени.

До сих пор наши рассуждения относились к простейшему случаю, когда ось волчка совпадала с линией действия силы. При этом псевдовекторы вращений алгебраически складывались с псевдовекторами хода времени. В общем же случае для любого положения оси вращения естественно считать, что псевдовекторы вращений и хода времени будут складываться геометрически. Тогда формулы преобразования сил (9)—(11) останутся прежними при условии, что входящие в них сложения следует производить геометрически. Для определения направления дополнительных сил удобнее пользоваться следующим правилом, вытекающим из вывода 4 и формул преобразования сил:

8. Дополнительные активные силы, возникающие при относительном вращении двух взаимодействующих точек, всегда направлены по оси вращения в ту сторону, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки с точки зрения системы координат, связанной с другой точкой. Дополнительные же реакции направлены в противоположные стороны.

В общем случае должно наблюдаться изменение не только величины сил, но и их направления, т. е. аберрация сил. При этом в системе может возникнуть дополнительная пара сил, которая изменит момент вращения этой системы. Таким образом, к перечисленным выше основным свойствам хода времени (3 и 6) следует добавить еще одно свойство:

9. Ход времени может изменять не только энергию, но и момент вращения механической системы.

Как было указано в первой главе, астрономическим подтверждением этой возможности получения механической системой дополнительного момента вращения без участия других тел может служить наблюдаемая в некоторых тесных звездных парах несинхронность орбитальных и осевых вращений звезд. В следующих же двух главах будут приведены описания механических опытов, которые непосредственно показывают возможность изменения механического момента системы.

Дополнительный член в формуле преобразования активной силы при относительном вращении (10) показывает, что некоторая доля следствия становится причиной в этой причинно-следственной связи. Это означает возможность кинематическим приемом изменять существующую причинную связь явлений и действовать следствием на причину. В механике Ньютона дополнительный член в формуле (10) отсутствует. Действительно, этот член должен исчезать, ибо обычная механика получается из причинной предельным переходом $c_2 \to \infty$. В обычной механике обращение причинных связей становится невозможным. Поэтому обычная механика соответствует Миру с бесконечно прочными причинными связями. Другой предельный переход мы не можем осуществить с помощью полученных формул. Дело в том, что формулы преобразования сил (9), (10) являются только линейным приближением, при котором учтены лишь члены первого порядка малости относительно u/c_2. Однако мы можем заключить, что при малом c_2 дополнительные члены будут играть основную роль и механика должна стать совершенно непохожей на механику Ньютона. Предельный случай $c_2=0$ означает полное отсутствие причинных связей и должен приводить к формулам атомной механики. Реальная механика, соответствующая конечному значению, должна быть ближе к обычной механике, чем к механике атома. Таким образом, систему реальной механики легче построить, изучая обычные механические явления, а не явления атомного мира. Мы вправе ожидать, что в поправках к механике Ньютона будет заключаться ряд особенностей, характерных для атомной механики. Действительно, в следующих главах описываются опыты, которые указывают на появление в обычной механической системе дискретных состояний, столь характерных для атомных явлений.

В заключение настоящей главы отметим еще один простой вывод, который следует из того обстоятельства, что при свободном движении тела действие отсутствует, а следовательно, будут отсутствовать и дополнительные силы:

10. Свободное тело, на которое действуют только независимые силы, должно двигаться по обычным законам механики при любом состоянии его вращения.

Например, при свободном падении вращающийся волчок должен иметь обычное ускорение тяжести. Несомненно, что в первом приближении и движения планет около Солнца

должны происходить независимо от состояния их вращений. Мы все же полагаем, что в небесной механике и в звездной динамике некоторые эффекты причинности могут получаться из-за неоднородности гравитационных полей, когда не все действующие на тело силы можно считать независимыми. Разработка этой важной проблемы требует уточнения понятия зависимых сил. Это вопрос, как и ряд других важных вопросов, например о точке приложения сил в обратных причинных связях, мы оставим пока без рассмотрения. Дело в том, что эти вопросы едва ли следует решать продолжением нашей дедукции. Значительно проще и надежнее находить на них ответы из прямых опытов. Произведенный анализ достаточно ясно показывает, в чем должны заключаться эти опыты и предсказывает ряд основных явлений, которые должны быть в первую очередь проверены опытом. Возможность существования даже предсказанных явлений будет казаться фантазией, пока эти явления не доказаны прямо. Поэтому следует перейти к непосредственному изложению опытных данных.

ГЛАВА IV

ЯВЛЕНИЯ ПРИЧИННОЙ МЕХАНИКИ, ВЫЗВАННЫЕ ВРАЩЕНИЕМ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ПЛАНЕТ

В предыдущей главе была рассмотрена основная задача о взаимодействии тяжелого волчка с неподвижной опорой. Эффекты причинности этой задачи должны проявляться в различных деформациях волчка при вращении его в разные стороны. Однако в лабораторных условиях очень трудно поставить опыт, в котором эти эффекты были бы достаточно ощутимыми. Дело в том, что при малых размерах тела и больших скоростях вращения деформация тела будет определяться не весом, а центробежными силами, по отношению к которым интересующие нас силы причинности окажутся очень малыми. Только у тел планетных размеров могут быть большие скорости вращения при малых центробежных силах. Во вращающихся небесных телах имеется взаимодействие между быстро вращающимися экваториальными массами и медленно вращающимися массами, расположенными около оси. Большинство планет солнечной системы вращается против часовой стрелки, если смотреть с их северного полюса. Согласно выводу 8 предыдущей главы на экваториальные массы должны действовать дополнительные активные силы, направленные к северу. На массы же, расположенные около оси вращения, должны действовать те же силы в направлении к югу. Очевидно, что на поверхности Земли, в обоих полушариях, будет существовать параллель, на которой силы причинности равны нулю. В результате действия дополнительных сил северное полушарие планеты должно стать более сжатым, а южное более выпуклым. Фигура планеты станет несимметричной по отношению к экваториальной плоскости и в меридиальном сечении будет кардиоидой. Полученная фигура может быть описана введением дополнительного нечетного члена в уравнение эллипсоида:

$$r = a\left(1 - \varepsilon \cos^2 p - \eta f(\cos p)\right), \qquad (14)$$

где r — радиус-вектор точки на поверхности планеты, проведенный из точки пересечения оси вращения с экваториальной плоскостью, т. е. плоскостью наибольшего сечения, a — радиус экваториального сечения, p — полярное расстояние, отсчитываемое от северного полюса планеты, ε — сжатие. Функция $f(\cos p)$ должна содержать только нечетные степени $\cos p$. При малом η член с первой степенью будет равносилен сдвигу начала координат. Поэтому функция $f(\cos p)$ может содержать степени $\cos p$, только начиная с куба и выше. Заметим, что для получения кардиоиды, а не овала, функция $f(\cos p)$ должна состоять, по крайней мере, из двух членов с разными степенями $\cos p$. Нормируем $f(\cos p)$ так, чтобы на северном полюсе ($p=$

$=0°$) $f=+1$. Тогда η может быть названо коэффициентом асимметрии:

$$\eta = \frac{b_S - b_N}{2a}. \tag{15}$$

Здесь b_S и b_N соответственно южная и северная полярная полуось. При уменьшении сжатия южного полушария в сравнении с северным $b_S > b_N$ и $\eta > 0$. Ограничиваясь кубом и пятой степенью $\cos p$, будем иметь следующее выражение:

$$f(\cos p) = \frac{\cos^3 p - k\cos^5 p}{1-k}. \tag{16}$$

Так как угол между нормалью и радиусом-вектором равен r'_p/r, то угол между нормалью к кардиоиде и нормалью к эллипсоиду должен иметь значение $-\frac{\eta}{1-k}(3\cos^2 p - 5k\cos^4 p)\sin p$. Знак минус соответствует отклонению нормали внутри кардиоиды к северу. Это выражение будет обращаться в нуль приблизительно на той параллели p_0, где исчезают асимметричные силы. Отсюда

$$k = \frac{3}{5\cos^2 p_0}. \tag{17}$$

Из формулы (10) следует, что

$$\eta = \beta u/c_2, \tag{18}$$

где u — экваториальная скорость вращения планеты и β — некоторый безразмерный коэффициент, зависящий от структуры планеты. Силы, создающие асимметрию, некоторым образом распределяются по всей массе планеты. Мы не располагаем достаточным знанием вопроса, чтобы точно сказать, как происходит это распределение. Очевидно только, что коэффициент β должен быть, по крайней мере, на порядок меньше единицы.

Из планет солнечной системы наибольшую экваториальную скорость u имеют Юпитер и Сатурн. Для Юпитера $u=11$ км/с и ожидаемое значение η должно быть около $+3\cdot10^{-3}$. В угловой мере асимметрия $2a\eta$ должна быть порядка 0″,1. Такая величина может быть вполне обнаружена при дифференциальных измерениях фотографических снимков, полученных крупными инструментами. Автором и Д. О. Мохначем были измерены многочисленные снимки Юпитера и Сатурна, полученные на разных обсерваториях. Не останавливаясь на описании методики этих измерений [5], приведем окончательные результаты в виде таблицы, в которую включена вероятная величина асимметрии Земли:

Таблица I

Планета	u, км/с	u/c_2	η	β
Сатурн	10	$1{,}4\cdot10^{-2}$	$+7\cdot10^{-3}\pm3\cdot10^{-3}$	0,5
Юпитер	11	$1{,}6\cdot10^{-2}$	$+3\cdot10^{-3}\pm0{,}6\cdot10^{-3}$	0,2
Земля	0,4	$0{,}6\cdot10^{-3}$	$\approx+3\cdot10^{-5}$	0,05

Третий столбец этой таблицы сосчитан согласно выражению (4) при $\alpha=2$. Последний столбец дает значения β, вычисленные по формуле (18). Эти значения достаточно хорошо совпадают со сделанной ранее предположительной оценкой. Большие значения β, полученные для Сатурна и Юпитера, могут объясняться значительной неоднородностью этих планет в сравнении с Землей. Действительно, представим себе взаимное притяжение только двух масс: неподвижных m_0 и вращающихся m_u. Тогда действие этих масс друг на друга, пропорциональное $m_0 m_u$, при постоянной общей массе m_0+m_u будет иметь максимальное значение при $m_0=m_u$. Схематизируя этим способом планету, мы должны считать $m_0 < m_u$, что и приводит к малым значениям β. При увеличении концентрации эти массы будут выравниваться, действие их станет большим, а это приведет к увеличению коэффициента β.

Данные табл. I показывают, что асимметрия планет относительно экваториальной плоскости действительно существует и что южное полушарие планет более вытянуто, чем северное ($\eta > 0$). При отражении планет в зеркале мы должны увидеть картину обратную, а именно удлинение полушария, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки. Таким образом, этими астрономическими наблюдениями еще в 1949 г. была показана физическая неравноценность Мира и его зеркального отображения, которая значительно позже была обнаружена в микромире опровержением закона сохранения четности при слабых взаимодействиях.

Приведенное в табл. I значение η для Земли является очень приближенной оценкой, которую можно сделать на основании широтного коэффициента асимметрии в распределении тяжести. Обстоятельное исследование сводных данных о гравитационном поле Земли, выполненное И. Д. Жонголовичем [10], подтвердило уже давно известное обстоятельство о большем значении тяжести в северном полушарии. Согласно Жонголовичу $\Delta g = g_N - g_S = +30$ мГал, и, следовательно, $\Delta g/g = 3\cdot10^{-5}$. Для однородной планеты отсюда можно заключить, что северный полюс находится ближе к центру тяжести планеты, чем южный. Южное полушарие Земли, как и у других планет, получается более вытянутым, причем приближенно можно считать $\eta \approx \Delta g/g$. Во избежание недоразумений необходимо

отметить, что геодезисты, интерпретируя данные об асимметрии тяжести, приходят с помощью теоремы Клеро или Стокса к противоположному выводу — о большей вытянутости северного полушария. Суть этого расхождения заключается в том, что теория фигуры Земли рассматривает поверхность Земли как поверхность уровня только двух потенциалов — тяжести и центробежных сил. При таком рассмотрении возможность асимметрии однородного тела исключается, и найденное значение Δg может быть объяснено только избытком плотной материи в северном полушарии, в сущности противоречивым предположением о неравновесном состоянии Земли. В этом случае уровенная поверхность того же значения отступит дальше, и получится удлинение полушария при большем значении тяжести. Как видно, эта интерпретация маловероятна, но окончательно она может быть устранена лишь прямыми градусными измерениями фигуры Земли.

Интересно отметить, что при $\eta > 0$, меридиональное сечение планеты должно по уравнению (14) представлять собой кардиоиду, вдавленную на севере и заостренную к югу. Наличие антарктического материка и северного полярного бассейна, а также предпочтительное расположение материков в северном полушарии придают Земле вид именно такой кардиоиды. Вероятно, это обстоятельство не случайно, ибо действие слабых сил, нарушающих симметрию, могло создать преимущественное направление для процессов внутри Земли.

Весьма важно доказать теперь непосредственными опытами существование сил, вызывающих асимметрию Земли. Простейший опыт вытекает из вывода 10 предыдущей главы, согласно которому на свободно падающее тело совершенно не действуют асимметричные силы. Наблюдения показывают, что отвес перпендикулярен к уровенной поверхности. Отсюда следует, что силы причинности, возникающие от взаимодействия вращающихся и невращающихся масс Земли, распространяясь на всю связанную массу Земли, передаются через точку подвеса и отклоняют в умеренных широтах отвес к северу. Когда связь нарушается и тело начинает свободно падать, на него перестают действовать силы, отклоняющие к северу, и оно будет помимо обычного отклонения к востоку сдвигаться еще и к югу от вертикали на величину

$$\Delta l_S \approx \eta l = 3 \cdot 10^{-5} l, \qquad (19)$$

где l — высота падения тела. Отклонение к югу получается пропорциональным l, в то время как отклонение к востоку пропорционально $l^{3/2}$, поэтому при малых высотах практически должно оставаться только отклонение к югу. Численная оценка (19) отклонения к югу соответствует умеренным широтам обоих полушарий. На критических параллелях ($p = p_0$) отклонения ли-

нии падения от отвеса не будет. Вблизи же полюсов должно наблюдаться очень малое отклонение к северу.

Первые опыты, произведенные Гуком в январе 1680 г. по инициативе Ньютона для проверки отклонения падающих тел к востоку, привели Гука к убеждению, что падающее тело отклоняется не только к востоку, но и к югу. Через сто лет этими опытами обстоятельно занимался Гильельмини (Guglielmini) в Болонье и пришел к тому же заключению. Впоследствии эти опыты Гильельмини были подвергнуты сомнению и в первой половине девятнадцатого века были повторены рядом исследователей. Джон Гершель считал, что установление реальности отклонения к югу является важнейшей проблемой механики. Но, несмотря на все старанье исследователей, не удавалось получить надежных результатов. Хорошо известно, что эти опыты всегда сопряжены с большими ошибками, мешающими надежно получить даже значительно большее отклонение к востоку. В 1902 г. Холл (Hall) в Америке многочисленными и тщательными опытами пытался решить окончательно вопрос о существовании отклонения к югу, но, как он сам пишет, ему не удалось снять этот вопрос. В табл. II приводим результаты всех произведенных опытов падения тел.

Таблица II

Наблюдатель	Время, г.	Место	Высота падения, м	Отклонение к востоку, мм		Отклонение к югу, мм	
				наблюд.	теор.	наблюд.	теор.
Hooke	1680	London	8,2	+	+0,3	+	+0,2
Guglielmini	1791	Bologna	78,3	+18,9	+9,2	+11,9	+2
Benzenberg	1802	Hamburg	76,3	+9,0	+8,91	+3,4	+2
"	1804	Schlebusch	84,4	+	+10,04	0	+3
Reich	1831	Freiburg	158,5	+28,4	+27,50	+4,4	+5
Rundell	1848	Cornwell	400	+	+110	+250?	+12
Hall	1902	Cambridge, Mass.	23	+1,49	+1,79	+0,05	+0,7
Flammarion	1903	Paris	68	+7	+8	−1,0	+2

В этой таблице теоретические отклонения к востоку вычислены по формуле $\Delta l_{ost} = (1/3) g\omega t^3 \cos\varphi$, а к югу согласно выражению (19). Судя по постановке опытов и их результатам, лучшие данные были получены инженером Рейхом в шахте Фрейбурга. Чтобы показать, в какой мере малонадежными являются даже эти лучшие определения, приведем следующую таблицу (табл. III), характеризующую опыты Рейха [12].

Данные табл. II и III не могут служить строгим опытным доказательством существования отклонения к югу. Однако они

Таблица III

Число опытов	Отклонение к востоку, мм	Вероятная ошибка, мм	Отклонение к югу, мм	Вероятная ошибка, мм
22	+27,13	±8,06	+6,69	±9,92
12	+27,32	13,97	+23,05	16,57
12	+16,34	10,02	−1,36	15,72
18	+46,34	8,02	+12,49	15,24
21	+29,03	5,92	−7,88	6,06
21	+10,70	11,20	−16,02	14,13

показывают, что существование этого отклонения соответственно формуле (19) весьма вероятно. Интересно, что Бенценберг, не получивший при повторных опытах в 1804 г. заметного южного отклонения, писал: «Sonderbar bleibt doch diese Tendenz der Fehler hach Süden».*

В настоящее время существует неправильное убеждение в том, что опыты падения тел на машине Атвуда, весьма тщательно проведенные Хагеном [13] в Ватикане, полностью опровергли существование южного отклонения. В этих опытах высота падения составляла 23 м, причем ускорение падения было уменьшено до $^1/_{25}$. Из теории следует, что величина восточного отклонения из-за натяжения нити должна уменьшаться в два раза по сравнению со свободным падением. Хаген получил значение $\Delta l_{ost} = +0{,}899 \pm 0{,}027$ мм, с точностью до 1 % совпадающее с теоретическим. Отклонение же к югу у него получилось практически равным нулю: $\Delta l_s = +0{,}010 \pm 0{,}027$ мм. Однако это опровержение является только кажущимся. Действительно, отклонение к востоку происходит совсем по другому закону, чем к югу. На машине Атвуда восточное отклонение уменьшается только в два раза, отклонение же к югу, из-за того что тело развязано только на $^1/_{25}$, должно по формуле (6) уменьшиться в 25 раз в сравнении с (19) и составлять $\Delta l_S = +0{,}03$ — значение, совершенно не противоречащее результатам Хагена.

Высокая точность результатов Хагена в основном объясняется малыми скоростями падений. В опытах отклонения к югу уменьшение скорости возможно только путем уменьшения высоты падения тела. Поэтому для проверки существования отклонения к югу в Пулкове нами был осуществлен опыт падения тела с высоты всего лишь 17 мм в воду. Падающее тело было специально изготовлено с тщательно выполненной осевой симметрией. Оно представляло собой тонкостенный латунный цилиндр диаметром и высотой около 4 см, внизу переходящий в сплошную полусферу того же диаметра. Сверху тело было закрыто легкой (алюминиевой) крышкой со съемной цилиндрической головкой в центре, имевшей небольшое отверстие (диаметр порядка 0,1 мм). Через это отверстие проходил тонкий волос, на котором подвешивалось тело. Тело помещалось в центре стеклянного сосуда с водой диаметром около 40 см, закрытого прозрачной крышкой. Волос подвеса пропускался через небольшое центральное отверстие этой крышки, затем проходил по оси спирали большого сопротивления, служившей для пережигания волоса, и закреплялся подъемным зажимом. Спираль и зажим были установлены на крышке сосуда. В свободном состоянии тело имело устойчивую плавучесть, и ватерлиния проходила на 2 см ниже его верхнего края. При подъеме тела на высоту 17 мм его вес уменьшался ровно в два раза. Включением тока можно было расплавить волос внутри спирали и осуществить падение тела без горизонтальных толчков. После падения тело колебалось строго вертикально с быстрым затуханием. Обозначим через l высоту подъема тела над ватерлинией. Отвлекаясь от затуханий:

$$\frac{d^2 l}{dt^2} = -\alpha l; \quad l = l_0 \cos \sqrt{\alpha}\, t,$$

и, следовательно, для периода колебаний T получается

$$T = 2\pi/\sqrt{\alpha}.$$

Подставляя в эти выражения начальные данные

$$\frac{1}{2} g = \left(\frac{d^2 l}{dt^2}\right)_0; \quad l_0 = 1{,}7,$$

находим $\alpha = 3 \cdot 10^2$; $T = 0{,}4$ с.

Наблюдения горизонтальных смещений тела после падения производились по перпендикулярным направлениям с помощью двух перископов, вставленных в крышку сосуда. Измерительные трубы помещались в другой комнате на значительном расстоянии от всей установки. Над крышкой сосуда была установлена маленькая электрическая лампа, которая давала вертикальный блик на цилиндрической головке тела. Наблюдение блика исключало ошибки, связанные с возможным вращением тела. Затухание горизонтальной скорости плавающего в воде тела происходит весьма медленно. Поэтому небольшая начальная скорость может привести к весьма ощутимому горизонтальному смещению. Наблюдения показали, что горизонтальная скорость нашего тела убывала по закону $v = v_0 l^{-t/t_0}$ при $t_0 = 120$ с. Таким образом, полное горизонтальное смещение равнялось расстоянию, которое прошло бы тело при равномерном движении за 2 мин.

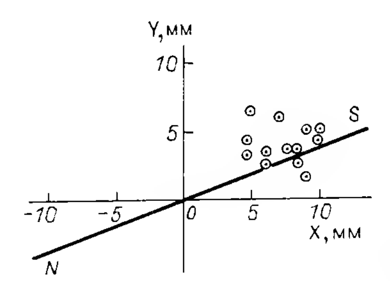
Постараемся теперь оценить величину ожидаемого смещения к югу. Ускорение к югу согласно (19) равно $3 \cdot 10^{-5}$ от фактического вертикального ускорения тела. Поэтому за пол-

* Все же, как ни странно, сохраняется эта тенденция отклонения к югу. (Пер. сост.)

периода, когда ускорение направлено вниз, тело должно приобрести скорость к югу:

$$v_S = 3 \cdot 10^{-5} \int\limits_0^{T/2} \frac{d^2 l}{dt^2}\, dt = 3 \cdot 10^{-5} \cdot 2\sqrt{\alpha}\, l_0 = 2 \cdot 10^{-3}.$$

За другую половину периода действие тяжести согласно второй формуле (6) остается неизменным и горизонтальная скорость тела измениться не может. Таким образом, за n периодов должно получиться горизонтальное смещение тела $l_S = v_S t_0 n = 2{,}4$ мм. Если все колебания тела эквивалентны двумтрем незатухающим колебаниям, то смещение тела к югу должно составлять 5—7 мм.



Фиг. 1. Отклонение от отвеса окончательного положения тела после падения в воду с высоты 1,7 см.

Практическое осуществление этого опыта затруднялось конвекционными токами в воде. Помещая сосуд с телом внутри другого сосуда с водой, в свою очередь закрытого цилиндрическим экраном из блестящей жести, удалось свести скорость конвекционных токов до 0,1—0,2 мм/мин. Другая трудность заключалась в осуществлении симметричного зажима волоса без преимущественной плоскости натяжений. Возможность такой преимущественной плоскости была в значительной степени уменьшена. Все же для исключения этих ошибок опыты производились в различных азимутах путем поворота всей установки. После того как тело было подвешено, опыт производился через несколько часов. На фиг. 1 изображены результаты этих измерений полного смещения тела в воде после падения. Координатные оси (X и Y) были выбраны случайно в соответствии лишь с ориентацией помещения, в котором производились опыты. Центр полученного облака точек расположен действительно к югу на расстоянии 8—9 мм от точки подвеса, что хорошо согласуется с предсказанным результатом. Отклонение к востоку в этом опыте должно составлять только доли миллиметра. Поэтому полученное небольшое смещение к востоку должно быть результатом некоторой, не вполне исключенной систематической ошибки.

На поверхности Земли преобразование обычной тяжести $A(p)$ в наблюдаемую тяжесть $A'(p)$ имеет вид

$$A'(p) = A(p) + j\gamma(p)\,|A(p)|, \qquad (20)$$

где $\gamma(p)$ представляет собой коэффициент порядка 10^{-5}, зависящий от полярного расстояния p и положительный в умеренных широтах обоих полушарий. Согласно выводу 8 главы III этому преобразованию отвечает следующее преобразование реакций:

$$R' = R - j\gamma(p)\,|R|. \qquad (21)$$

Формулы (20) и (21) являются результатом преобразования хода времени. Поэтому можно предположить, что и другие силы в свяэа́нных с поверхностью Земли системах будут видоизменяться соответственно этим формулам: упругие силы — аналогично реакциям по формуле (21), силы же инерции — аналогично тяжести по формуле (20). Справедливость этого предположения легче всего проверить по действию на систему периодических сил. Действительно, средние по времени этих сил $\bar{A}$ и $\bar{R}$ равны нулю, в то время как

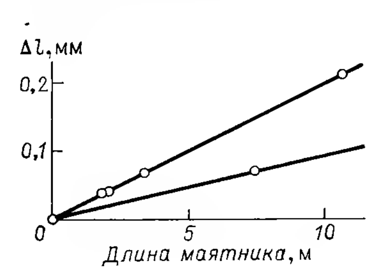
$$\bar{A}' = j\gamma(p)\,|\bar{A}|, \quad \bar{R}' = j\gamma(p)\,|\bar{R}|. \qquad (22)$$

Например, при колебаниях системы в горизонтальной плоскости должен получиться сдвиг колеблющегося тела к северу. Для получения заметных сдвигов останавливающие тело силы должны нарастать с расстоянием очень постепенно. Вместе с тем периодически меняющиеся силы должны быть по возможности большими. Этим условиям будет удовлетворять длинный маятник, телу которого сообщаются значительные горизонтальные ускорения колебанием нити подвеса. В первоначальном варианте опыта симметричное тело маятника весом около 30 г было подвешено с помощью нити толщиной порядка 0,1 мм и длиной 180 см (период 3 с) к железной пластинке, которую могли подтягивать по вертикали расположенные над ней электромагниты. Изменяя частоту тока, можно было создать любые вертикальные дрожания подвеса. При дрожаниях меняется натяжение нити, и подбором частот можно было осуществить явление параметрического резонанса, когда нить маятника превращалась в колеблющуюся струну с неподвижным и почти неподвижным концом. Колебания параметрического резонанса были не поляризованы, и нить имела вид вполне симметричного веретена. Резонанс осуществлялся на различных частотах, например при частотах около 90 Гц, расстояние между узлами получилось порядка 60 см при полной амплитуде в пучности около 7 мм. Таким образом, горизонтальные силы, приложенные к телу маятника, получались порядка нескольких процентов

веса. Оказалось, что маятник можно в плоскости меридиана раскачать или остановить, осуществляя включением тока на короткое время параметрический резонанс при прохождении маятника около положения равновесия. Этот же эффект получался при постоянном дрожании подвеса переходами от нерезонансной частоты к резонансу. За 50 последовательных включений тока, когда маятник двигался к северу, получалось полное раскачивание в 1 мм. Остановка же при этой начальной амплитуде получалась за 15—20 включений тока при движении маятника к югу. Отсюда можно заключить, что при наличии горизонтальных составляющих напряжения нити на маятник действует некоторая дополнительная сила, направленная к северу. Оказалось, что действие этой силы можно наблюдать непосредственно. Действительно, при длительных включениях тока, т. е. при постоянном параметрическом возбуждении, среднее положение маятника сдвигалось к северу на величину около 0,04 мм от его положения в покое или при отсутствии резонанса. Таким образом, величина этой дополнительной силы, действующей к северу, получилась равной $2 \cdot 10^{-5} g$.

Этот опыт должен дать величину $\gamma_N(p)$ горизонтальной проекции вектора $j\gamma(p)$ согласно формуле (22). Правильный по порядку результат получится, если в формуле (22) принимать для $|\bar{A}|$ полное значение тяжести $A(p)$. Таким образом, горизонтальные силы, действующие на тело при параметрическом резонансе, только возбуждают переход в другое равновесное состояние, в котором на маятник действует не сила веса $A'(p)$, а сила $A''(p)$ с удвоенным коэффициентом $\gamma(p)$. Правильность этого заключения была проверена на маятниках длиной 3,30 м и 10,60 м. С помощью узкой щели можно было получать колебания, поляризованные в определенной плоскости. Оказалось, что переход в возбужденное состояние $A''(p)$ осуществляется только с помощью горизонтальных сил, действующих в плоскости меридиана. Поворачивая плоскость поляризации, при достаточно большой амплитуде колебаний можно было найти критический угол, при котором эффект то появлялся, то исчезал. Дальнейшее увеличение проекции колебаний на плоскости меридиана не изменяло достигнутого состояния $A''(p)$. Переход в состояние $A''(p)$ всегда происходил скачком, как только проекция горизонтальных ускорений на плоскость меридиана достигала нескольких процентов g. Появление эффекта совершенно не зависело от частоты резонанса, т. е. от числа узлов на нити маятника. Смещение к северу тела маятника длиной 10,6 м составляло в Пулкове 0,21 мм. Как видно из фиг. 2, линейный эффект строго пропорционален длине маятника. С увеличением широты места наблюдений следовало ожидать значительного уменьшения $\gamma_N(p)$, во-первых, из-за уменьшения горизонтальной проекции, во-вторых, из-за резкого уменьшения

вектора $j\gamma(p)$, величина которого должна проходить через нуль в высоких широтах. Действительно, опыты в г. Кировске (Полярно-альпийский Ботанический сад Академии наук, $\varphi = 67°39'$) показали уменьшение $\gamma_N(p)$ более чем в два раза в сравнении с Пулковом $\varphi = 59°46'$ (см. фиг. 2). При наблюдении этого малого эффекта в Кировске оказалось, что при очень больших колебаниях нити маятник может перейти в следующее возбужденное состояние $A'''(p)$ с утроенным коэффициентом $\gamma(p)$.



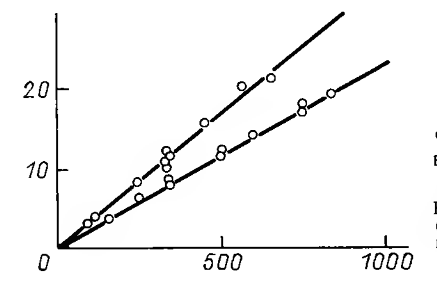
Фиг. 2. Линейное смещение маятника при вибрациях в зависимости от длины маятника.

Верхняя прямая соответствует наблюдениям в Пулкове ($\varphi = 59°46'$), нижняя — в Ботаническом саду г. Кировска ($\varphi = 67°39'$).

Изучаемые силы направлены по оси вращения Земли. Поэтому в умеренных широтах северного полушария должны наблюдаться вертикальные проекции, направленные вверх, которые можно пытаться получить при вибрациях системы с вертикальной степенью свободы. Простейшей системой такого рода являются рычажные весы. Допустим, что на одном конце коромысла весов подвешен груз на жестком подвесе, который может передать грузу вибрации коромысла. Другой же, уравновешивающий, груз подвешен с помощью резиновых амортизаторов, гасящих колебания. Тогда при вибрации весов можно будет наблюдать уменьшение веса вибрирующего груза. В произведенных опытах опора коромысла весов была охвачена специальной скобкой, которая гибким тросом соединялась с расположенным над весами электромагнитным реле. Обычно в весах существуют направляющие для вертикального перемещения опоры коромысла при арретировании весов. Благодаря этим направляющим получались вертикальные колебания коромысла без боковых раскачиваний. Подавая на реле переменный ток от звукового генератора, можно было вызвать вибрации любой частоты, не нарушая качества показаний весов. Все же эти опыты следует производить на весах малой чувствительности (технические, второго класса), у которых ребра призм соприкасаются с площадками, имеющими форму крышек.

Опыты с весами показали, что облегчение жестко подвешенного груза, как и смещение в опытах с маятником, происходит скачком, начиная с некоторой амплитуды вибраций. Приходится подбирать оптимальную амплитуду, при которой получается эффект, но не расстраиваются весы. При многократных взвешиваниях удалось измерить облегчения груза с точностью до

нескольких десятых миллиграмма. На фиг. 3 изображены результаты этих опытов, произведенных в Пулкове и в Ботаническом саду г. Кировска. Как это следует из наших формул, облегчение груза оказалось пропорциональным его весу. Угловой коэффициент этих графиков дает $\gamma_Z(p)$, т. е. вертикальную проекцию вектора $j\gamma(p)$. С помощью этих значений и значений горизонтальных составляющих фиг. 2, можно определить φ' — угол наклона вектора $j\gamma(p)$ к горизонту:



Фиг. 3. Облегчение груза при вибрациях в зависимости от его веса.

Верхняя прямая соответствует наблюдениям в Пулкове ($\varphi=59°46'$), нижняя — в Ботаническом саду г. Кировска ($\varphi=67°39'$).

$$\operatorname{tg}\varphi' = \gamma_Z/\gamma_N. \qquad (23)$$

В табл. IV приведены результаты всех произведенных измерений:

Таблица IV

Место	Широта	$\gamma_Z(p)\cdot 10^5$	$\gamma_N(p)\cdot 10^5$	$\gamma(p)\cdot 10^5$	φ'
Пулково	59° 46′	3,40	2,00	3,96	59° 32′
Кировск	67° 39′	2,32	0,93	2,50	67° 58′

Из этой таблицы видно, насколько хорошо угол φ' совпадает с широтой места наблюдений. Этот результат убедительно показывает, что наблюдаемые в опытах с вибрациями силы действительно равны дополнительным асимметричным силам тяжести, действующим на поверхности Земли. Таким образом, оказался найденным весьма простой способ непосредственного измерения сил, вызывающих асимметрию Земли. Экстраполируя данные табл. IV, можно оценить критическую широту φ_0, на которой исчезают асимметричные силы: $\varphi_0=73°$ ($P_0=17°$). Тогда из формулы (17) получается $k=0{,}66={}^2/_3$ м; согласно уравнениям (16) и (14) фигура Земли должна описываться формулой

$$r = a\,[1 - \varepsilon\cos^2 p - \eta\,(3\cos^3 p - 2\cos^5 p)]. \qquad (24)$$

Весьма знаменательно, что полученная нами критическая параллель соответствует в северном полушарии границе материков и началу впадины Ледовитого океана, а в южном полушарии, наоборот, параллели поднятия материка Антарктики.

В области от критической широты до полюса асимметричные силы меняют знак, поэтому на весах должно наблюдаться утяжеление вибрирующего груза. Это утяжеление будет на полюсе достигать наибольшего значения порядка абсолютного значения вектора $j\gamma(p)$ умеренных широт. Таким образом, в полярных областях следует ожидать изменения утяжелений груза в 1 кг около 0,2—0,3 мг на 5° широты. Весьма вероятно, что этим путем можно осуществить практически полезное определение широт в полярных странах. Для изучения асимметричных сил желательно получить возможно большее число измерений $\gamma(p)$ по всей поверхности Земли. Помимо закономерного изменения сил $\gamma(p)$ с широтой можно ожидать и некоторых долготных изменений, которые позволят установить существование в Земле глубинных неоднородностей.

Отклонение маятника и коромысла весов при вибрациях наглядно показывают справедливость вывода 9 предыдущей главы о возможности изменения момента вращения системы силами хода времени. Одна из сил, составляющих пару, приложена к вибрирующему грузу, другая же сила, как показывает опыт, приложена к источнику вибраций. Иными словами, дополнительные силы являются внутренними по отношению к системе вибратор — груз. Действительно, подвешивая на весы любым образом всю систему вибратор — груз, можно убедиться, что в этом случае при различном характере вибраций никакого изменения показаний весов не происходит.

Сейчас мы не будем искать теоретического объяснения наблюдаемых эффектов. Дело в том, что опыты с гироскопами, которые будут изложены в следующей главе, показывают аналогичные эффекты с новыми особенностями. Поэтому целесообразно провести теоретический анализ после описания всех опытов, учитывая совокупность результатов.

Независимо от теоретического объяснения опыты с вибрациями грузов показывают, что при некоторых обстоятельствах на движущиеся, но связанные с Землей массы действуют асимметричные силы, в два или несколько раз большие сил, действующих на покоящиеся массы Земли. Поэтому для масс, находящихся в движении, поверхность Земли не будет уровенной поверхностью, и должно наблюдаться в умеренных широтах обоих полушарий преимущественное перемещение этих масс к северу. В атмосфере планеты следует ожидать существования особой циркуляции — перемещения воздушных масс тропосферы к северу с противотоком к югу в верхних слоях. Такая циркуляция приведет к различию климатов обоих полушарий планет, причем северное полушарие станет теплее южного.

Указанное различие климатов обоих полушарий планет действительно существует. На Земле средняя годовая температура южного полушария на 3° меньше температуры северного полушария. В результате температурный экватор оказывается смещенным на 10° к северу по отношению к географическому. Такое большое различие климатов едва ли можно объяснить эксцентриситетом земной орбиты. Для Марса, как и для Земли, южное полушарие холоднее северного. Об этом свидетельствует значительно большее развитие южной полярной шапки Марса в сравнении с северной. Для Марса этот эффект в значительной степени может получаться из-за большого эксцентриситета орбиты Марса: зима южного полушария приходится на афелий и должна быть значительно холоднее и продолжительней, чем в северном полушарии. Однако весьма знаменательно, что и для Венеры при круговой орбите наблюдается тот же эффект усиления светлых пятен вблизи южного полюса по сравнению с северным. Следует заметить, что в настоящее время не существует точных данных о направлении вращения Венеры. Скорее всего, Венера вращается в обычную сторону, как и другие планеты. Подтверждением этого может служить одно косвенное обстоятельство. Из наблюдений автора над свечением ночного неба Венеры можно заключить, что это свечение несколько больше при утренних элонгациях, чем при вечерних. Естественно считать, что свечение неба должно быть сильнее на вечерней стороне Венеры, которая будет наблюдаться при утренних элонгациях в случае прямого вращения. По-видимому, и для Солнца имеется такая же асимметрия температур полушарий. Произведенные Миннаэртом спектрофотометрические измерения температур поверхности Солнца [11] показали, что южный полюс Солнца на 4° холоднее северного. Климатическое различие полушарий Солнца подчеркивается еще и тем, что в южном полушарии пятна появляются несколько чаще, чем в северном. Для планет атмосферная циркуляция к северу переносит больше тепла в северное полушарие, в основном из-за перемещения нагретых в тропиках масс воздуха. На Солнце тот же эффект получится из-за возможного смещения к северу токов, выносящих в области конвективной неустойчивости больше тепла. Геометрическая асимметрия фигуры Солнца никогда не измерялась. При линейной скорости вращения Солнца на экваторе $u=2$ км/с следует ожидать асимметрию в угловой мере около 1″. Поэтому, несмотря на технические трудности, такие измерения могли бы дать определенный результат.

Одновременно с силами, сдвигающими воздушные массы к северу, должны существовать противоположно направленные силы, приложенные к поверхности Земли. Эти силы могут вызвать смещения к югу поверхностных вод океанов. Из-за сложности и изменчивости течений верхних слоев воды преимущественность движений к югу едва ли можно заметить. Но неизбежное движение к северу глубинного противотока можно обнаружить по проникновению к северу южных полярных вод. Такое передвижение глубинных вод, видимо, действительно существует в Атлантическом и в Тихом океанах.

Изложенное в этой главе показывает, что многие и разнообразные явления на Земле вызываются асимметричными силами хода времени. Поэтому экспериментальное и теоретическое развитие причинной механики должно представлять большой интерес для наук, изучающих Землю.

ГЛАВА V

ЛАБОРАТОРНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ ПРИЧИННОЙ МЕХАНИКИ

В третьей главе были упомянуты опыты, из которых можно заключить, что закон сохранения импульса выполняется и в причинной механике. Эти опыты являются основными, поэтому их следует подробно описать, несмотря на то, что в них не обнаруживаются новые эффекты, подтверждающие причинную механику.

Первый основной опыт: взвешивание волчка на рычажных весах. Первые взвешивания были выполнены нами в Лаборатории мер массы Всесоюзного Института Метрологии в 1951 г. Взвешивались волчки различных типов: 1) со свинцовым ротором диаметром $D=4{,}6$ см и весом Q от 70 до 90 г, 2) с латунным ротором: $D=4{,}6$ см, $Q=72$ г; $D=7{,}2$ см, $Q=180$ г; $D=4{,}6$ см, $Q=284$ г. Волчки приводились во вращение рукой с помощью нити, намотанной на ось. Для легких волчков получались скорости вращения около 200—300 об/с и около 100—150 об/с для тяжелых. Вращение по инерции продолжалось от 15 до 40 мин в зависимости от качества изготовления волчка. Приведенный во вращение волчок помещался в легкую герметически закрытую коробку. Таким путем совершенно исключалось влияние воздушных токов на взвешивание. Точность взвешивания удалось довести до 0,1—0,2 мг. Эти опыты показали, что сила, действующая на весы, при скоростях 30—40 м/с не меняется при вращении с точностью до одной миллионной. Основной недостаток взвешивания тел, вращающихся по инерции, заключается в неизбежном скручивании подвесов и коромысла весов. Действительно, останавливающийся волчок в силу закона сохранения момента вращения должен передать свой момент Земле через стойку весов. Для полного устранения скручивания весов необходимо скорость волчка держать неизменной. Поэтому в дальнейших опытах взвешивался гироскоп, взятый из авиационного гирокомпаса ($Q=250$ г, $D=4$ см), скорость которого поддерживалась переменным трехфазным током с частотой 500—600 Гц. С этой же частотой происходило вращение ротора гироскопа. Несмотря на значительную силу тока (около 0,5 а), оказалось возможным подводить ток к подвешенному на весах гироскопу с помощью трех очень тонких проводов, предварительно отожженных для уменьшения их упругости. Потеря чувствительности весов из-за этих проволок оказалась незначительной. Цена деления весов без проволок была 8 мг, с проволоками — 10 мг. Таким образом, при линейных скоростях вращения около 70 м/с взвешивание удалось выполнить с точностью до 1 мг. Никаких изменений показаний весов не было обнаружено и при этих опытах.

Второй основной опыт: взвешивание подвижного волчка. В этих опытах волчок по-прежнему помещался в легкой закрытой герметической коробке. Коробка подвешивалась к железной пластинке, которую притягивали электромагниты, скрепленные с некоторым массивным телом. Вся эта система подвешивалась на весах с помощью эластичного, пружинного подвеса. Ток к электромагнитам подводился способом, описанным в предыдущем опыте. Система прерывания тока установлена отдельно от весов. При разрыве цепи волчок падал под действием тяжести до ограничителя, скрепленного с электромагнитами. Амплитуда этих падений и последующих подъемов могла достигать 2 мм. Взвешивание проводилось при разных направлениях вращения волчка, при разных амплитудах и при частоте колебаний от нескольких единиц до сотен герц. Кроме того, опыты были произведены при разных значениях неподвижной массы, входившей в подвешенную систему. Для вращающегося волчка, как и для неподвижного, показания весов при бросаниях и подъемах волчка оказались неизменными. Можно считать, что эти опыты достаточно точно обосновывают наше теоретическое заключение о сохранении импульса в причинной механике.

При выполнении описанных опытов оказалось, что в случае вибрации весов иногда наблюдаются эффекты, которые несомненно связаны с ролью направления вращения в механике. Подвешенный на жестком подвесе волчок мог передавать свои вибрации коромыслу весов. При некоторой регулировке волчка в подшипниках, т. е. при некотором характере вибраций коромысла, наблюдалось уменьшение показаний весов (действия волчка на весы) только при вращении волчка против часовой стрелки, если смотреть по направлению силы тяжести. При вращении по часовой стрелке в тех же условиях изменений показаний весов почти не наблюдалось. Условия, при которых появлялись эти эффекты, не удавалось воспроизводить по желанию. Необходимый для этого режим устанавливался случайными обстоятельствами. Этот режим колебаний сопровождался характерным звуком. При этих условиях опыты могли быть повторены много раз и давали одинаковые результаты. Затем ничтожные обстоятельства нарушали необходимый режим, и весы в соответствии с первым основным опытом переставали менять показания. Опыты производились с волчками в упорных подшипниках, вращавшимися по инерции. Эти волчки и их взвешивание описаны в начале настоящей главы. При вращении против часовой стрелки волчка $D=4{,}6$ см, $Q=90$ г и $u=25$ м/с, получалось облегчение: $\Delta Q=-8$ мг. При вращении по часовой стрелке всегда оказывалось $\Delta Q=0$. При горизонтальном положении оси в любом азимуте наблюдалось облегчение промежуточного значения: $\Delta Q=-4$ мг. Этот на первый взгляд странный результат объясняется сложением эффекта вращения волчка и эффекта вращения Земли, благодаря которому уменьшается вес

всякого вибрирующего тела. Действительно, полный вес волчка с оправой равнялся 120 г, а из табл. IV следует, что для Пулкова облегчение такого груза из-за вращения Земли должно составлять как раз —4 мг. Таким образом, сам эффект вращения ротора получается совершенно симметричным и равным ± 4 мг. По-видимому, при соответствующих дрожаниях коромысла происходило разделение дополнительных сил хода времени, действующих в разные стороны. На волчок остается действие только силы, уменьшающей вес, а сила обратного направления, приложенная при спокойном коромысле к точке подвеса, оказывается приложенной к точке опоры коромысла на стойке весов. В результате уменьшение веса не компенсируется на подвесе, и происходит отклонение стрелки весов. Согласно формуле (10)

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{u}{c_2}. \tag{25}$$

Отсюда с помощью приведенных данных получается $c_2 = 550$ км/с. Поскольку направление дополнительных сил в опыте соответствует формулировке 8 из главы III, заключаем, что постоянная c_2 действительно положительна в левой системе координат. Этот результат по знаку и величине совпадает со сделанной в главе IV оценкой c_2, полученной из асимметрии фигур планет. Планеты и волчок столь резко отличаются размерами и угловыми скоростями вращений, что равенство вызванных ими эффектов само по себе является прекрасным доказательством пропорциональности сил хода времени линейным скоростям вращений.

При описанных опытах взвешивания волчков наблюдалось уменьшение ΔQ с добавлением к волчку невращающейся нагрузки. Скорее всего в этом эффекте нет ничего принципиально нового и он просто связан с изменением режима вибраций весов при дополнительной нагрузке. Во всяком случае, это показывает, что в подобных опытах надо избегать лишнего утяжеления волчка.

Кроме опытов со взвешиванием нами был исследован вопрос о возможности отклонения подвешенного волчка с горизонтальной осью от линии отвеса. Как и в основных опытах с весами, при спокойном режиме не наблюдалось никакого отклонения линии подвеса волчка при его вращении. Однако при специальном режиме, когда дрожания волчка передавались в точку подвеса, наблюдался сдвиг линии подвеса от вертикали в сторону, откуда вращение казалось происходящим против часовой стрелки. Этот эффект при длине нити, равной 2 м, и при скорости вращения $u = 25$ м/с составлял 0,07 мм. Таким образом, отношение горизонтальной силы к полному весу тела составляло $3{,}5 \cdot 10^{-5}$. Интересующее нас отношение ΔQ к весу ротора Q получается умножением найденной величины на $(a+Q)/Q$, где a — вес оправы. Для волчка в опыте $Q = 70$ г и $a = 30$ г, поэтому $\Delta Q/Q = 5{,}0 \cdot 10^{-5}$ и по формуле (25) находим $c_2 = 500$ км/с. Важно отметить, что при расположении оси волчка в плоскости меридиана наблюдалось наложение на собственное смещение волчка дополнительного смещения к северу из-за горизонтальной проекции эффекта вращения Земли при вибрации груза.

Описанные опыты с несомненностью устанавливают существование эффектов причинной механики, связанных с направлением вращения. Однако существенным недостатком этих опытов является невозможность простого воспроизведения необходимого режима вибраций. Поэтому желательно перейти к таким опытам, при которых была бы доступной регулировка источника вибраций. Для этого вибратор должен быть независимым от ротора и связанным с невращающимися частями системы. Поэтому дальнейшие опыты были поставлены точно таким образом, как описанные в главе IV опыты вибрации грузов для выяснения эффектов вращения Земли: на маятнике осуществлялась вибрация точки подвеса, а на весах — вибрация опорной площадки коромысла весов. В этих опытах был использован гироскоп авиационной автоматики со следующими характеристиками: $D = 4{,}2$ см, $Q = 250$ г при весе оправы $a = 150$ г. Ток к этому гироскопу подводился методом, описанным в начале этой главы, и наблюдения производились при неизменной скорости вращения. Эти опыты сразу выяснили весьма существенное обстоятельство. Коль скоро источник вибрации оказался связанным с неподвижными частями системы, все эффекты переменили знак: на волчок стали действовать по его оси дополнительные силы в сторону, откуда вращение кажется происходящим по часовой стрелке.

В опытах по отклонению подвешенного гироскопа с горизонтальной осью от линии отвеса гироскоп на стальной проволоке диаметром 0,15 мм и длиной 3,30 м был подвешен к пластинке прочно укрепленного вибратора. Оказалось, что для получения отклонения среднего положения такого маятника от отвеса необходимо соблюдение условий, во всем подобных условиям получения эффектов вращения Земли. Отклонение гироскопа в направлении оси получалось только при параметрическом резонансе, когда проекция на направление оси гироскопа приложенных к нему горизонтальных сил достигала некоторого критического значения того же порядка, как и в опытах с эффектами вращения Земли. Отклонение от отвеса всегда происходило скачком и сохраняло определенное значение, независящее от дальнейшего увеличения проекции амплитуды вибраций проволоки. В случае, когда ось гироскопа располагалась по меридиану, отчетливо выступало сложение эффектов волчка и Земли. Например, при 300 об/с и при положении вектора вращения волчка j к югу получалось отклонение 0,18 мм; при

противоположном же расположении оси вращения эффект составлял только 0,05 мм. В табл. V приведена сводка многочисленных измерений линейных смещений гироскопа по отношению к отвесу, исправленных за эффект вращения Земли.

Таблица V

Угловая скорость, об/с	Линейная скорость вращения, м/с	Линейное отклонение от отвеса, мм
200	26	0,08
300	40	0,12
400	53	0,16

Из этой таблицы видно, что эффект действительно пропорционален скорости вращения. Отношение ΔQ к полному весу гироскопа, приведенное к скорости $u=40$ м/с, составляет $3{,}6\times\times 10^{-5}$. Для получения отношения $\Delta Q/Q$ необходимо приведенное выше значение исправить за вес оправы умножением на $(Q+a)/Q$. Специальными опытами, при которых нарочито увеличивался вес оправы, было показано, что такое исправление действительно необходимо. В результате при $u=40$ м/с $\Delta Q/Q=$ $=5{,}7\cdot 10^{-5}$, а, следовательно, $c_2=700$ км/с.

Важно отметить, что для получения эффектов с гироскопом необходимо принимать некоторые специальные меры, которые несущественны для получения эффектов вращения Земли. Оказалось, что эффект гироскопа совершенно исчезает, когда вибратор установлен непрочно, т. е. когда он может приводить в колебание некоторые невращающиеся части системы. Эффект же вращения Земли при этом остается.

Опыты на весах показали, что можно подобрать такой режим вибраций коромысла весов, когда наступает облегчение гироскопа при вращении по часовой стрелке и его утяжеление при вращении против часовой стрелки с точки зрения наблюдателя, смотрящего сверху. Для нашего гироскопа при 300 об/с эффект в одну сторону составлял 15 мг. Таким образом, $\Delta Q/Q=$ $=6{,}0\cdot 10^{-5}$ ($u=40$ м/с), откуда по формуле (25) находим $c_2=$ $=670$ км/с, в прекрасном согласии с результатом, полученным из горизонтальных смещений. Очевидно, коэффициент α в формуле (4), определяющей величину c_2, имеет значение, близкое к $\alpha=2$. Необходимо отметить, что те же эффекты по величине и по знаку можно получить с вибратором, расположенным не отдельно от весов, а на противоположном конце коромысла весов в качестве уравновешивающего груза. Отсюда следует, что роль источника вибраций в этих опытах играет точка опоры призмы коромысла весов. Как и в опытах с отвесом, для получения эффекта с гироскопом на весах требуются более специальные условия, чем для обнаружения эффекта вращения Земли. При взвешивании гироскопов, несмотря на большое число опытов, не удалось даже точно установить условий, при которых обязательно должен получаться эффект.

Из опытов с вибрациями грузов на поверхности Земли и с вибрациями гироскопов можно сделать интересные выводы, приближающие нас к лучшему пониманию смысла причинных связей и хода времени. В опытах обоих типов изучается причинно-следственная связь в двух точках: опора и центр тяжести тела. При отсутствии вибраций ось гироскопа, где лежит его центр тяжести, и опора находятся в обычной причинно-следственной связи, которая определяется псевдовектором $+ic_2$ для действия причины. На Земле происходит то же самое: хотя на груз и действует дополнительная сила, возникшая из-за относительных вращений внутри Земли, она будет действовать на опору, как и всякая другая сила, с ходом времени $+ic_2$. Из наших опытов видно, что благодаря вибрациям у системы «опора—тело» появляется дополнительный ход времени вращений. Это можно понять следующим образом: проекция горизонтальных усилий на направление оси вращений, как и всякая сила, выявляет ход времени по направлению ее действия. Поэтому возникающая при вибрациях, направленных по оси вращения, причинно-следственная связь будет действовать с дополнительным ходом времени вращений. Раз возникший, такой ход времени будет определять уже все причинно-следственные связи системы «опора—тело». Поэтому и вес тела будет действовать с дополнительным ходом времени, что приведет по формулам (8)—(10) к дополнительным силам, пропорциональным весу. В опытах мы имели дело с вынужденными вибрациями, которые поддерживались источником, находившимся либо в самом теле (собственные вибрации волчка), либо в точке опоры, скрепленной с вибратором.

Разберем первый случай, когда причина вибраций связана с самим телом. В опытах с гироскопом проекция горизонтальных усилий устанавливает для причины-следствия ход времени (ic_2+ju), поскольку причина вибраций находится во вращении ju по отношению к следствию. После установления этого хода времени вес гироскопа по формуле (10) изменится на величину $-j(u/c_2)|Q|$ или $+j(u/c_2)|Q|$, если считать все коэффициенты положительными. Это изменение веса будет сопровождаться противодействием в другой точке системы «опора—тело», т. е. на опоре коромысла весов или в точке подвеса маятника. В опытах с вибрациями груза для обнаружения эффектов вращения Земли ход времени для действия причины станет равным $ic_2+j\gamma(p)$, что изменит вес груза A на величину $j\gamma(p)|A|$.

Во втором случае, когда причина вибраций связана с точкой опоры в опыте с гироскопом, вибрации установят ход времени (ic_2-ju) между опорой и гироскопом. Действительно, в этом случае причина вращается относительно следствия со скоростью $-ju$. Этот ход времени приведет к изменению всякой

причины, а следовательно, и к изменению веса на величину $-j(u/c_2)|Q|$, если считать в этом выражении все коэффициенты положительными. Получается дополнительная сила, действующая на гироскоп в сторону, откуда вращение кажется происходящим по часовой стрелке. Эффект становится противоположным эффекту первого случая, как это и наблюдалось на самом деле. Для эффектов вращения Земли перемены знака не будет. Ход времени для действия причины будет по-прежнему $ic_2 + j\gamma(p)$, ибо для Земли независимо от положения источников вибраций причины всегда связаны с инерцией груза или его весом, а следствия с силами упругости.

Из того обстоятельства, что эффект гироскопа меняет знак при переносе источника вибраций, а эффект Земли не меняется, следует большая устойчивость эффекта Земли. Поэтому для его воспроизведения не требуется таких чистых условий, как в опытах с гироскопом. Зато в опытах с гироскопом можно из наблюдений над отклонением весов и маятника заключить о положении источника вибрации. Эта возможность разыскания причины является характерной и весьма важной особенностью причинной механики.

Дополнительные силы, возбужденные вибрацией, будут действовать, как самые обычные силы. Поэтому система может иметь и с этими силами обычный ход времени ic_2. Представляется возможным, что дальнейшее увеличение вибраций приведет систему с дополнительными силами опять к ходу времени вращений. В результате появится еще такая дополнительная сила и т. д. Поэтому в опытах с вибрациями можно ожидать появления сил:

$$\text{для гироскопов} \quad \Delta Q = \pm jn \frac{u}{c_2}|Q|,$$

$$\text{для Земли} \quad \Delta A = +jn\gamma(p)|A|, \tag{26}$$

где n — любое целое положительное число. Как было упомянуто в предыдущей главе, иногда в опытах с вибрациями, по-видимому, удавалось наблюдать состояние, соответствующее $n=2$.

Произведенные опыты выясняют весьма важное обстоятельство, заключающееся в том, что дополнительный ход времени вращающихся тел не есть просто относительное вращение. Дополнительный ход времени появляется из-за относительных вращений, но, раз возникнув, он проявляет себя независимо от состояния относительных вращений в других причинных связях. Действительно, в опытах с эффектом вращения Земли относительного вращения между телом и опорой просто не существует. В опытах же с гироскопом при вибрации опоры вращение гироскопа, с точки зрения причинной связи «вес — силы упругости», происходит в сторону, противоположную ходу времени, установившемуся благодаря вибрациям. Для выявления хода времени достаточно ничтожных обстоятельств (малых усилий в направлении оси вращений), после чего измененный ход времени может создать заметные дополнительные силы к имевшимся в системе большим силам. Эти обстоятельства и дискретность состояний, описываемая формулой (26), совершенно необычны для классической механики, но они характерны для механики атома. Появление такого типа поправок к классической механике можно было предвидеть, ибо причинная механика должна включать в себя, как два крайних случая, классическую механику и механику атома.

Приведенное выше объяснение опытов с вибрациями тел является лишь приблизительным и требует еще большой разработки в деталях. Можно надеяться, что дальнейшие опыты в этом направлении помогут найти настоящее, исчерпывающее понимание явлений в причинных связях. Как видно из всего изложения, вопрос этот очень глубокий, и настоящая работа является только самым началом исследований в этой обширной области знаний.

Заканчивая описание произведенных опытов, автор считает своим приятным долгом выразить свою глубокую признательность В. Г. Лабейшу за большое и инициативное участие в осуществлении большинства опытов настоящей работы и Л. А. Сухареву за многие ценные советы, которыми мы постоянно пользовались при этих исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механика является фундаментом, на котором основано все здание точных наук. Вместе с тем теоретическая механика разработана только для двух крайних абстрактных случаев: 1) механика Ньютона—Эйнштейна, отвечающая Миру с бесконечным ходом времени ($c_2 = \infty$), и 2) атомная механика, которая является некоторым представлением механики Мира с нулевым ходом времени ($c_2=0$). В реальном же Мире, как показывает изложенный в настоящей работе опытный и теоретический материал, ход времени c_2 является конечной величиной. Поэтому точные науки, развиваемые дедуктивно без учета конечности хода времени, не могут дать настоящего представления о Мире. Естественные же науки, развиваемые в основном индуктивно и без строгой точности выводов, дают зато более полное представление о возможностях, существующих в Мире. Этот разрыв между естествознанием и точными науками должен исчезнуть, коль скоро точные науки станут опираться на механику, в которой учитываются конечность хода времени и другие возможные свойства причинности.

Механика Ньютона—Эйнштейна и атомная механика приводят к первому и второму началам термодинамики. Поэтому в Мирах, отвечающих этим механикам, возможны только процессы, при которых происходит возрастание энтропий, ведущее к тепловой смерти. Реальный же Мир, благодаря конечности хода времени c_2, имеет своеобразные свойства. Этот Мир может бороться со смертью противоположными процессами, которые могут быть названы процессами жизни, если употреблять это слово в самом широком его смысле.

Мы не располагаем еще достаточными данными, чтобы провести строгий анализ возможности таких процессов в Мире с конечным c_2. Но принципиальная возможность сопротивления возрастанию энтропии вытекает уже из ряда выводов, полученных в настоящей работе. Действительно, вращение взаимодействующих тел при конечном c_2 приводит к возникновению дополнительных сил, а следовательно, и дополнительной энергии. В системе, близкой к равновесию, случайные изменения относительных вращений в ее различных частях могут вести только к увеличению полной энергии. Поэтому может оказаться невозможным успокоение системы, т. е. исчезновение кинетических энергий ее отдельных частей. В результате система, находящаяся вблизи равновесия, станет машиной, производящей энергию. Такого рода системами, вероятно, и являются звезды.

Возможность использования хода времени, т. е. неравноценности прошедшего и будущего, для получения работы является интересным, но не главнейшим следствием причинной механики. На примере опытов с вибрациями гироскопов мы видели, что весьма малые воздействия вибраций могут устанавливать в системе вращающихся тел дополнительные причинно-следственные отношения, вызывающие заметные механические эффекты. Эта возможность вмешиваться в существующие причинно-следственные отношения означает, что можно овладеть течением времени с тем, чтобы усиливать процессы, действующие против возрастания энтропии, т. е. процессы жизни. Наблюдавшиеся в описанных опытах явления дают только некоторый намек на то, что сказанное является не пустой мечтой, а имеет основание в действительности. Конкретное овладение временем, разумеется, станет возможным только после тщательного изучения его свойств. Настоящая работа показывает, что такое изучение времени вполне возможно методами обычных физических экспериментов.

Указатель литературы

1.* Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43.

2.* Козырев Н. А. Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.

3.* Козырев Н. А. О внутреннем строении больших планет//Докл. АН СССР. 1951. Т. 79. № 2. С. 217—220.

4. Хабаков А. В. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. М., 1949. 195 с.

5.* Козырев Н. А. Возможная асимметрия в фигурах планет//Докл. АН СССР. 1950. Т. 70. № 3. С. 389—392.

6. Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. II. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных естественных тел биосферы. М.; Л., 1939. С. 31.

7. Gauss C. F. Theoria residuorum biquadraticorum, commentatio secunda// Göttingishe Gelehrte Anzeigen. 1831. Bd 1. Stúdie 64. S. 635.

8. Ludwig W. Bestimmung und Vererbung der Asymmetrieform (Rechts-Links-Problem)//Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft E. V. 1936. Bd 38. S. 21—73 (Zoologischer Anzeiger; 9. Supplementband).

9. Гаузе Г. Ф. Асимметрия протоплазмы. М.; Л., 1940. 128 с.

10. Жонголович И. Д. Внешнее гравитационное поле Земли и фундаментальные постоянные, связанные с ним//Труды Ин-та теоретич. астрономии. 1952. Вып. 3. С. 3—126.

11. Minnaert M. G. J. A search for temperature differences between the poles and the equator of the Sun//Sterrenwacht „Sonnenborgh" der Rijksuniversiteit te Utrecht. 1953. Deel 1. N 5. P. 50—56 (Atti dei Convegni. Fondazione Allessandro Volta. Dell'11/Accademia Nazionale dei Lincei).

12. Reich F. Fallversuche über die Umdrehung der Erde. Freiberg, 1832. 48 S.

13. Hagen J. G. La Rotation de la Terre, ses Preuves mécaniques anciennes et nouvelles//Specola Astronomica Vaticana [Roma]. 1912. Vol. I. Append. 2. P. 1—53.

ПРИЧИННАЯ МЕХАНИКА И ВОЗМОЖНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВРЕМЕНИ*

Теоретические соображения. В геометрии еще в давние времена были найдены приемы, позволяющие изучать свойства пространства. Благодаря этому накоплено немало сведений о пространстве. Что касается времени, то его свойства изучены очень мало.

Еще в древности научились располагать во времени события и измерять разделяющие их временные промежутки. В настоящее время астрономические и атомные часы заменили клепсидру древних. Но в этом нет принципиального прогресса, и по-прежнему точные науки имеют дело только с этим пассивным свойством времени, похожим на пространственную протяженность. Теория относительности Эйнштейна углубила эту аналогию, считая время и пространство компонентами четырехмерного интервала мира Минковского. Инвариантность этого интервала приводит к зависимости промежутков времени и пространственных протяженностей от координатных систем, т. е. устанавливает относительность этих понятий.

И все же, несмотря на этот успех в развитии представлений о времени, по-прежнему остается известным современной физике только то свойство времени, которое измеряется с помощью часов. Физические теории, утверждающие однородность и изотропность времени, даже построены таким образом, что исключают существование у времени других свойств. Так, например, симметричность законов механики по отношению к знаку времени равносильна отсутствию направленности времени в элементарных процессах. Поэтому наблюдаемую повсюду несимметричность процессов во времени оставалось рассматривать только как явление статистическое, связанное со вторым началом термодинамики. Такая несимметричность во времени возникает из-за маловероятных начальных условий, вызванных вмешательством сторонней системы. Несимметричность во времени получается в результате перехода систем из маловероятного состояния в наиболее вероятное, т. е. в равновесное состояние. С этой точки зрения тепловая смерть Вселенной представляется совершенно неизбежной. Таким образом, это точка зрения, находясь в резком противоречии с наблюдаемым разнообразием объектов Вселенной, не может быть правильной.

Козырев Н. А. Причинная механика и возможность экспериментального исследования свойств времени//История и методология естественных наук. Вып. 2. Физика. М., 1963. С. 95—113.

* Расширенное и обработанное выступление на методологическом семинаре физического факультета МГУ 23 января 1962 г. Публикуется в порядке обсуждения.

Надо заметить, что до сих пор все попытки объяснить отсутствие тепловой смерти имели чисто спекулятивный характер и были оторваны от той реальной Вселенной, которую наблюдает астроном. Дело в том, что отдельные небесные тела и их системы так изолированы друг от друга, что для них тепловая смерть должна заметно приблизиться, прежде чем произойдет вмешательство сторонней системы. Поэтому деградированные состояния систем должны бы преобладать, а вместе с тем они почти не встречаются. Итак, задача заключается не в том, чтобы объяснить неравновесность Вселенной в целом. Она имеет значительно более конкретный смысл — понять, почему отдельные системы и сами небесные тела продолжают жить, несмотря на короткие сроки релаксации.

Интересно, что даже такой конкретный вопрос — почему светятся Солнце и звезды, т. е. почему они не находятся в тепловом равновесии с окружающим их пространством, — не может быть решен в рамках известных физических законов. Этот вывод следует из анализа астрономических данных. Для значительного числа звезд известны их радиусы, массы и светимость, т. е. расход энергии в единицу времени. Зная массу и радиус, мы можем оценить не только среднюю плотность, но и давление внутри звезды. Для идеального газа из отношения этих величин можно определить и температуру внутри звезды. Сопоставление полученных таким образом температур и плотностей доказывает, что внутри звезд, за исключением белых карликов, вещество действительно является идеальным газом.

Светимость звезды должна зависеть от ее размеров и условий теплоотдачи, которые определяются в конечном счете температурой и плотностью. Поэтому светимость должна быть некоторой определенной функцией радиуса и массы звезды. В пространстве с осями координат светимость, масса, радиус звезды должны располагаться на некоторой поверхности, уравнение которой определяется условиями теплоотдачи. Допустим теперь, что внутри звезды идут процессы теплообразования, зависящие от физических условий, например термоядерные реакции, которые компенсируют теплоотдачу звезды. Тогда теплообразование будет равняться светимости звезды и зависеть от массы и радиуса по закону, отвечающему данной реакции. В пространстве светимость, масса, радиус получается вторая поверхность, на которой должны располагаться звезды. При условии теплового равновесия звезды могут существовать только на линии пересечения построенных поверхностей теплоотдачи и теплообразования.

На самом же деле расположение реальных звезд в пространстве получается не по линии, а по некоторой поверхности в довольно значительной области. Таким образом, поверхности

теплоотдачи и теплообразования тождественно совпадают. Это указывает, что внутри звезд нет специальных источников энергии. При таких условиях срок жизни звезд, вычисленный Гельмгольцем и Кельвином, получается слишком коротким: для Солнца около тридцати миллионов лет. В действительности же Солнце, по достоверным геологическим данным, живет значительно дольше этого срока.

Приведенный здесь вкратце анализ показывает, что проблема свечения звезд является частным случаем основной проблемы — несоответствия следствий второго начала термодинамики наблюдаемому состоянию Вселенной. Очевидно, в самых основных свойствах материи, пространства, времени должны заключаться возможности борьбы с тепловой смертью противоположными процессами, которые могут быть названы процессами жизни. Благодаря этим процессам поддерживается вечная жизнь Вселенной. Если во Вселенной действует принцип недостижимости равновесных состояний, то это означает существование всегда и при всех обстоятельствах различия будущего от прошедшего. Действительно, только при равновесном состоянии кинофильм, регистрирующий происходящие события — флюктуации, может быть с одинаковым успехом пущен и в прямую, и обратную сторону, т. е. не обнаружит различия будущего от прошедшего. Универсальная несимметричность процессов во времени будет иметь место, если само время является несимметричным, т. е. обладает свойством направленности, которое может быть названо течением или ходом времени. Естественно думать, что ход времени является неотъемлемым его свойством, подобно тому как универсальная скорость $c_1 = 300\,000$ км/с является обязательным свойством света. Если время является активным участником Мироздания, т. е. если процессы Вселенной происходят не только во времени, но и с помощью времени, тогда обязательный и непрестанный ход времени будет источником дополнительной энергии и жизненных явлений, препятствующих наступлению тепловой смерти.

Время нельзя рассматривать оторванно от материи; образно говоря, оно является грандиозным потоком, охватывающим все материальные системы Вселенной, и все процессы, происходящие в этих системах, являются источниками, питающими этот общий поток.

Будем рассматривать теперь несимметричность процессов как свойство самого времени. Такая несимметричность должна проявляться в единичных процессах, а потому учитываться принципами элементарной механики. Механику, учитывающую ход времени, можно назвать не только несимметричной, но и причинной механикой. Действительно, ход времени, отличающий будущее от прошедшего, должен устанавливать и принципиальное отличие причин от следствий, поскольку следствия всегда находятся в будущем по отношению к причинам. Посмотрим

теперь, каким образом можно количественно определить и ввести в механику ход времени.

Ход времени должен быть универсальной постоянной и определяться по отношению к некоторому инварианту. Таким инвариантом может служить пространство. Дальнейшее уточнение этого определения можно сделать с помощью основных свойств причинности.

Опыт естествознания показывает, что причины и следствия реально отличаются друг от друга. Причину от следствия можно отличить, например, следующим приемом. Если при воспроизведении явления A с соблюдением тех же самых обстоятельств всегда будет иметь место явление B, то A будет причиной, а B — следствием. Наоборот, при появлении B не обязательно должно осуществляться A, ибо следствие B может быть вызвано не только явлением A, но и другими причинами. Опыт естествознания, который совпадает со всем опытом нашей жизни, показывает, что: 1) причина всегда находится вне того тела, в котором осуществляется следствие, и 2) следствие наступает после причины и между их появлением всегда существует временное различие. Таким образом, механика, согласованная с этими принципами, должна опираться на следующие аксиомы причинности:

I. Причины и следствия всегда разделяются пространством. Поэтому между ними существует сколь угодно малое, но не равное нулю пространственное различие δx.

II. Причины и следствия всегда разделяются временем. Поэтому между ними существует сколь угодно малое, но не равное нулю временное различие δt.

К этим двум аксиомам добавим еще аксиому, утверждающую существование направленности времени.

III. Время обладает абсолютным свойством, отличающим будущее от прошедшего, которое может быть названо направленностью или холодом. Этим свойством определяется отличие причин от следствий, ибо следствия находятся всегда в будущем по отношению к причинам.

Первая из этих аксиом является основой классической механики Ньютона. Она содержится в третьем законе равенства действия и противодействия. Согласно этому закону только другое тело может быть причиной механического следствия. С классической точки зрения в силу непроницаемости материи, причины и следствия, будучи связанными с разными материальными точками, должны быть связанными и с разными точками пространства. Вторая же аксиома отсутствует в механике Ньютона. В этой механике, как раз наоборот, предполагается $\delta t = 0$, что должно быть при полной обратимости времени.

В атомной механике, как и в теории поля, нет принципа непроницаемости. Поэтому в атомной механике $\delta x = 0$. Но в атомной механике есть необратимость во времени, которой не было

в классической механике. Воздействие на систему макроскопического тела — прибора вводит различие между будущим и прошедшим, ибо будущее оказывается предсказуемым, а прошедшее нет. Поэтому в атомной механике является существенным условие $\delta t \neq 0$.

Пространственное и временное различие причин от следствий мы определили символами δx и δt. Остановимся теперь на смысле этих понятий. В цепи причинно-следственных превращений мы рассматриваем только то элементарное звено, где причина порождает следствие. Согласно обычным физическим теориям это звено является пространственно-временной точкой, не подлежащей дальнейшему анализу. В силу же наших аксиом причинности мы не можем разделять такую позицию. Для нас это элементарное причинно-следственное звено должно иметь структуру, обусловленную невозможностью пространственно-временного наложения причин и следствий. Условия неналожения при предельном сближении мы определяем символами δx и δt. Следовательно, эти символы означают пределы бесконечно малых величин при условии, что они никогда не обращаются в нуль. Если, например, причина находится в самом конце первого сантиметра и в самом конце первой секунды, то следствие будет находиться в самом начале второго сантиметра и в самом начале второй секунды. Пространственно-временная точка (1,1) не будет принадлежать ни причине, ни следствию и является неизбежной «пустой» точкой причинно-следственного звена. Можно сказать, что символы δx и δt определяют точечные расстояния или размеры точек. При вычислении интервалов их с любой степенью точности можно считать равными нулю. Однако отношение

$$\frac{\delta x}{\delta t} = c_2 \qquad (1)$$

может быть конечной величиной и искомой мерой хода времени.

Превращение причины в следствие требует преодоления «пустой» точки пространства. Эта точка является бездной, через которую перенос действия одной точки на другую осуществляется с помощью хода времени. Это означает активное участие времени в процессах материальных систем. Можно сказать, что величина c_2 является скоростью превращения причин в следствия. В элементарном акте этих превращений уже нет материальных тел, есть только пространство и время. Поэтому скорость превращения причин в следствия, т. е. величина c_2, едва ли зависит от свойств тел. Скорее всего, c_2 представляет собой некоторую универсальную постоянную.

Величина c_2 имеет размерность скорости, и ее знак должен иметь определенный смысл, независимый от системы счета δx и δt. Покажем, что это условие будет удовлетворено, если c_2 является псевдоскаляром, т. е. скаляром, меняющим знак при

зеркальном отображении или инверсии координатных систем. Если же c_2 является псевдоскаляром, то δt должно быть предельным значением псевдовектора, колинеарного с предельным вектором δx. Псевдовекторный характер δt означает, что в плоскости (YZ), перпендикулярной к оси X, происходит некоторый поворот, направление которого можно определить знаком δt. Взаимное расположение осей (YZ) условимся брать всегда в соответствии с направлением этого поворота. Тогда псевдовектор δt будет ориентировать плоскость, перпендикулярную к оси X. Изменим теперь в формуле (1) знак δx, сохраняя знак δt, т. е. сохраняя ориентацию плоскости (YZ). Тогда постоянная c_2 изменит знак, что и должно быть поскольку наша операция равносильна зеркальному отображению. Если же изменить знак не только у δx, но и у δt, то постоянная c_2 по формуле (1) не изменит знака. Так и должно быть, ибо в данном случае мы произвели лишь поворот всей координатной системы. Наконец, меняя знак только у δt, мы опять получаем зеркальное отображение координатной системы, при котором должен меняться знак псевдоскаляра.

Итак, если у времени существует свойство направленности, то оно в причинно-следственных связях проявляется как некоторый поворот и выражается поэтому псевдоскаляром. Знак направленности или хода времени как знак псевдоскаляра должен быть указан в координатной системе определенного типа (правой или левой). Отсюда следует, что c_2 не может равняться скорости распространения света c_1, являющейся обычным скаляром.

Псевдоскалярный характер хода времени легко было предвидеть из следующих общих соображений. Ход времени должен быть абсолютной величиной, поэтому абсолютное различие будущего от прошедшего должно быть связано с некоторым абсолютным различием, которое должно быть у пространства. Будучи изотропным, пространство не имеет различий в направлениях. Но в пространстве есть абсолютное различие между правым и левым, хотя сами эти понятия совершенно условны. Поэтому ход времени и определяется величиной, имеющей смысл линейной скорости поворота. Понятия будущего и прошедшего определяются для всего мира без всякой условности. Поэтому с помощью знака c_2 можно объективно определить, что называется правым и левым. Из опытов, о которых будет рассказано дальше, следует, что ход времени нашего Мира положителен в левой системе координат. Отсюда получается возможность объективного определения левого и правого следующим образом. Левой системой координат называется та система, в которой ход времени положителен, а правой — в которой он отрицателен. Из рассмотренных псевдоскалярных свойств хода времени сразу вытекает основная **теорема** причинной механики:

Мир с противоположным течением времени равносилен нашему Миру, отраженному в зеркале.

Таким образом, доказательство физической роли направленности времени мы получим, если будет доказана неравноценность Мира и его зеркального отображения. Биология дает многочисленные доказательства этого рода не только в морфологической асимметрии организмов, но и в химической асимметрии протоплазмы. Астрономическим доказательством является различие фигур северного и южного полушарий планет. Подобное доказательство дает и найденное в недавнее время нарушение закона сохранения четности ядерной физики. Биологическая асимметрия не может быть случайной. Скорее всего, при определенной асимметрии, соответствующей данному ходу времени, организм получает дополнительную жизнеспособность. Тогда на основании нашей основной теоремы можно утверждать, что в Мире с противоположным течением времени сердце у позвоночных было бы расположено справа, раковины моллюсков в основном были бы закручены влево и т. д. Интересно попытаться с помощью точных опытов над балансом энергии в биологических процессах прямо доказать, что жизнь действительно использует ход времени в качестве дополнительного источника энергии.

Каждая причинно-следственная связь имеет некоторое пространственное направление, орт которого обозначим через i. Поэтому в конкретной причинной связи будет существовать ориентированный псевдоскаляр ic_2. Докажем, что в точке причина и в точке следствие эти псевдоскаляры должны быть противоположной ориентации. Действительно, следствие находится в будущем по отношению к причине, а причина в прошедшем по отношению к следствию. Поэтому, перенося точку зрения из причины в следствие, мы меняем знак у δt, а следовательно, переходим к противоположной ориентации плоскости, перпендикулярной к оси причина — следствие. Тогда при фиксированном i будет меняться тип координатной системы, и поэтому выражение ic_2 изменит знак. Если же при переходе от причины к следствию менять знак i, то знак c_2 останется неизменным, а следовательно, ic_2 изменит знак и в этом случае. Это рассуждение показывает, что ход времени является реальным физическим процессом, равноценным относительному вращению причины и следствия с линейной скоростью c_2 и осью, совпадающей с ортом i. Отсюда становится очевидным, что для изучения возможных изменений причинных связей и хода времени следует ставить опыты над взаимодействием вращающихся тел.

Рассмотрим простейший случай, когда одна из взаимодействующих точек является идеальным волчком. Под идеальным волчком будем понимать тело, вся масса которого расположена на некотором одном и неизменном расстоянии от оси. Действие этого волчка на другое тело осуществляется через материальную ось вращения и материальные связи с этой осью, массами которых можно пренебрегать. Тогда действие идеального волчка будет равносильно действию материальной точки, имеющей массу волчка и его вращение. Допустим, что точка, с которой взаимодействует волчок, находится в направлении его оси. Обозначим через j орт оси вращения волчка. Будем считать j обычным вектором и условимся независимо от типа координатной системы откладывать его в другой точке, например в ту сторону, откуда вращение волчка кажется происходящим по часовой стрелке. Наблюдаемое вращение волчка можно описать псевдовектором ju, где u — линейная скорость вращения. Поскольку j является обычным вектором, величина u должна быть псевдоскаляром. При нашем выборе направления j u является псевдоскаляром, положительным в левой системе координат. С точки зрения волчка другая точка вращается в противоположном направлении, сам же он является неподвижным. Таким образом, причине и следствию могут быть сопоставлены псевдовекторы $\pm ju$, похожие на ориентированные псевдоскаляры хода времени $\pm ic_2$. Различие между этими величинами заключается в том, что величина ориентированного псевдоскаляра хода времени остается неизменной по любому направлению, в то время как величина псевдовектора меняется как проекция вектора. Однако различие это становится несущественным при совпадении ортов i и j. Для полноты сходства между ju и ic_2 мы должны сопоставлять псевдовектор ju не с той точкой, вращение которой характеризуется этим псевдовектором, а с другой, из которой наблюдается это вращение. Очень возможно, что при соблюдении указанных условий вместо обычного хода времени $\pm ic_2$ при вращении будет наблюдаться ход времени $\pm(ic_2+ju)$.

Уточним теперь понятие причинных связей в механике. Принцип Даламбера позволяет причины и все возможные следствия сводить к силам. Однако очень трудно установить общее правило, по которому можно силы причины, или активные силы, отличать от сил следствия. Эта проблема должна изучаться физическим экспериментом, который следует начать с простейших явлений, где причину можно бесспорно отличить от следствия. Таким частным случаем механики является движение на связях. Действительно, пассивные силы реакций связей должны рассматриваться как следствия активных сил.

Пусть на точку (1) действует некоторая сила F. Благодаря этому точка (1) может стать причиной, вызывающей силу следствия в точке (2). Эту силу следствия можно назвать действием Φ_0 первой точки на вторую:

$$\Phi_0 = F - \frac{dp_1}{dt} = \frac{dp_2}{dt}. \tag{2}$$

Для первой же точки она является потерянной силой Даламбера:

$$\frac{dp_1}{dt} = F - \frac{dp_2}{dt}.$$

Можно считать, что за время dt точка (1) теряет импульс dp_2, который передается точке (2). Поскольку между точками (1) и (2) всегда есть $\delta t \neq 0$, то между ними должно существовать и $\delta p_2 \neq 0$, причем

$$\frac{\delta p_2}{\delta t} = \frac{dp_2}{dt} = \Phi_0. \tag{3}$$

Обозначим через i орт действия: $\Phi_0 = i|\Phi_0|$. Тогда ориентированный псевдоскаляр хода времени ic_2 будет указывать направление к будущему, если он совпадает с направлением орта i. Это означает, что для сохранения обычного счета времени мы должны пользоваться системой координат, в которой c_2 имеет положительное значение. Преобразуем теперь выражение (3) с помощью формулы (1):

$$\Phi_0 = ic_2 \left| \frac{\delta p_2}{\delta x} \right|. \tag{4}$$

С точкой (1), как мы знаем, должен быть связан ориентированный псевдоскаляр противоположного направления. Согласно формуле (4) это означает, что совместно с действием первой точки на вторую обязательно существует равное по величине противодействие R_0 второй точки. Таким образом, третий закон Ньютона следует из свойств хода времени.

Выражение, стоящее в прямых скобках формулы (4), должно представлять собой инвариант, не зависящий от хода времени. Действительно, при любом ходе времени продолжительность событий может измеряться одной и той же единицей времени. Поэтому могут считаться неизменными не только x, но и p.

Допустим теперь, что ход времени изменился и вместо ic_2 стал равным $ic_2 + ju$. Тогда по формуле (4) можно получить преобразование сил:

$$\Phi = (ic_2 + ju) \left| \frac{\delta p_2}{\delta x} \right|; \quad R = -(ic_2 + ju) \left| \frac{\delta p_2}{\delta x} \right|.$$

Следовательно,

$$\Phi = \Phi_0 + j\frac{u}{c_2}|\Phi_0|, \quad R = R_0 - j\frac{u}{c_2}|\Phi_0|. \tag{5}$$

Таким образом, в системе получаются дополнительные напряжения, изменяющие ее потенциальную энергию. Импульс же системы остается неизменным.

Если псевдовектор ju совпадает по направлению и знаку с ходом времени ic_2, то он будет во всем подобен ходу времени и будет указывать правильное расположение причин и следствий. Тогда дополнительные силы в формуле (5) будут увеличивать существующие в системе действие Φ_0 и реакцию R_0. Например, если тяжелый волчок на неподвижной опоре вращается против часовой стрелки, смотря по силе тяжести, то вектор j будет направлен по действию i. Тогда при c_2, положительном в левой системе координат, действие и реакция будут увеличены. В результате система выйдет из равновесия, и новое равновесие установится тогда, когда волчок, облегченный дополнительной реакцией, будет оказывать прежнее действие на опору. Поэтому этот эффект нельзя обнаружить взвешиванием волчка на весах. Он может проявить себя только в дополнительной деформации.

В механике Ньютона, как мы знаем, при $\delta x \neq 0$ принимается $\delta t = 0$. В атомной же механике, наоборот: $\delta x = 0$ при $\delta t \neq 0$. Таким образом, механика Ньютона соответствует миру с бесконечным ходом времени: $c_2 = \infty$, а атомная механика — миру, в котором $c_2 = 0$, т. е. отсутствует ход времени. При бесконечном c_2 дополнительные силы по формулам (5) исчезают, как это и должно быть в механике Ньютона. Можно сказать, что механика Ньютона отвечает миру с бесконечно прочными причинными связями. Атомная же механика представляет другой предельный случай мира с бесконечно слабыми причинными связями. Формулы (5) получены некоторым уточнением принципов ньютоновской механики. Они являются приближенными и не допускают предельный переход $c_2 = 0$. Все же они показывают, что в этом случае дополнительные силы, не предусмотренные механикой Ньютона, будут играть основную роль. Причинность будет казаться нарушенной, и явления природы придется объяснить статистически.

Полученные выводы показывают, что механику, отвечающую принципам причинности естествознания, можно развивать путем уточнения механики Ньютона. Но это уточнение должно в области макроскопических явлений классической механики привести к появлению эффектов, характерных для атомной механики. В механике Ньютона подлежат развитию как раз те ее стороны, которые совершенно игнорировались современной теоретической физикой. Так, едва ли возможно свести причинно-следственные отношения механики к вариационным принципам, на которых сейчас строится здание физических теорий. Этим объясняется, почему язык нашего изложения вынужденно оказался близким языку старинной классической механики и очень далеким от современных способов изложения физических теорий.

Для постановки опытов важно знать заранее величину ожидаемых эффектов, зависящую от постоянной c_2. Численное значение c_2 можно попытаться оценить, исходя из соображений размерности. Единственная универсальная постоянная, которая может иметь смысл псевдоскаляра, это постоянная Планка h. Действительно, эта постоянная имеет размерность момента

количества движения и определяет спин элементарных частиц. Теперь, пользуясь постоянной Планка и любой скалярной постоянной, надо получить величину, имеющую размерность скорости. Легко убедиться, что

$$c_2 = \alpha \frac{e^2}{h} = \alpha \cdot 350 \text{ км/с}, \quad (6)$$

где e — заряд элементарной частицы, α — безразмерный множитель, является единственной комбинацией этого рода. Тогда по формуле (5) дополнительные силы при $u = 100$ м/с будут порядка 10^{-4} от приложенных сил. Такие значительные силы можно обнаружить в простых опытах, не требующих высокой степени точности измерений.

Данные наблюдений и опытов. В системе «тяжелый волчок и опора» дополнительные силы причинности являются внутренними. Поэтому их нельзя обнаружить взвешиванием волчка на весах. Действительно, специально произведенные весьма точные взвешивания волчков при больших скоростях вращения не обнаружили никаких изменений показаний весов и тем самым доказали отсутствие внешних сил. Однако эти силы должны проявлять себя в дополнительных деформациях, зависящих от скорости и направления вращения. Для лабораторных волчков малых радиусов при больших u центробежные силы будут на много порядков превышать силу тяжести. Поэтому искомые дополнительные деформации едва ли можно обнаружить на фоне деформаций от центробежных сил.

Из-за больших радиусов небесных тел центробежные силы в них значительно меньше тяжести. Поэтому дополнительные деформации быстро вращающихся планет должны заметным образом изменять их фигуру. Взаимодействие разных элементов масс планеты с различными скоростями u будет в соответствии с формулой (5) вызывать дополнительные силы хода времени. В результате интегрирования этих взаимодействий вес тела Q на поверхности планеты должен измениться на величину ΔQ по формуле

$$\Delta Q = j \frac{\bar{u}}{c_2} |Q|, \quad (7)$$

где $\bar{u}$ — некоторая эффективная скорость относительных вращений взаимодействующих масс планеты. Мы не располагаем еще достаточным знанием вопроса, чтобы на самом деле выполнить это интегрирование и произвести вычисление $\bar{u}$. Для получения же качественной картины воспользуемся разобранным выше примером тяжелого волчка на опоре, считая c_2 положительным в левой системе координат. Из этого примера следует, что в случае прямого вращения планеты вблизи экватора ΔQ и $j\bar{u}$ будут направлены к северному полюсу. По закону сохранения импульса эти силы должны уравновешиваться силами, действующими на близполюсные (осевые) массы планеты в противоположную сторону. Поэтому на поверхности планеты в обоих полушариях найдется некоторая параллель φ_0, где силы хода времени, а значит, и $\bar{u}$, обращаются в нуль. Под действием таких сил планета примет форму кардиоиды, вытянутой к югу. Коэффициент асимметрии η определим следующим образом:

$$\eta = \frac{b_S - b_N}{2a}, \quad (8)$$

где a — большая полуось, а b_S и b_N — расстояния полюсов до экваториальной плоскости.

Тщательное измерение фигуры Юпитера, выполненное по многим снимкам автором и Д. О. Мохначом, показало, что у Юпитера южное полушарие более вытянуто и коэффициент асимметрии η получился равным $+3 \cdot 10^{-3} \pm 0{,}6 \cdot 10^{-3}$. Аналогичный результат, лишь с меньшей точностью, был получен и для Сатурна: $\eta = +7 \cdot 10^{-3} \pm 3 \cdot 10^{-3}$. Этими измерениями устанавливается, что ход времени c_2 действительно положителен в левой системе координат и имеет значение порядка величины в формуле (6).

В настоящее время существует ряд данных, показывающих, что и у Земли южное полушарие более вытянуто, чем северное. Это следует, например, из измерений силы тяжести на поверхности Земли. Для несимметричного однородного тела сила тяжести должна быть больше на тупом, т. е. северном, конце и меньше на остром, т. е. южном, конце. Существование именно этого различия $\Delta g = g_N - g_S > 0$ известно уже давно. Согласно И. Д. Жонголовичу $\Delta g = +30$ мГал, и, следовательно, $\Delta g/g = 3 \cdot 10^{-5}$. Наблюдения над движением спутника 1958 β2 ($i = 34°$ и $e = 0{,}1$) показали, что перигейное расстояние в северном полушарии значительно меньше перигейного расстояния в южном полушарии. Отсюда непосредственно следует в соответствии с измерениями на поверхности Земли, что сила тяжести в северном полушарии больше, чем в южном. Судя по литературным данным, детали движения этого спутника подтверждают и форму кардиоиды для Земли. Во избежание недоразумения следует отметить, что геодезисты и исследователи движения спутников приходят из приведенных данных о тяжести к противоположному выводу — о большей вытянутости северного полушария. Суть этого расхождения заключается в том, что обычно учитываются только центробежные силы и сила тяжести. При таком рассмотрении возможность асимметрии однородного тела исключается, и найденное Δg может быть объяснено только избытком плотной материи в северном полушарии. В этом случае уровенная поверхность того же значения

должна отступить дальше, и получится удлинение полушария при большем значении тяжести. Однако знак асимметрии, полученный непосредственно для Юпитера и Сатурна, говорит не в пользу этой интерпретации.

Весьма важно доказать теперь непосредственными опытами существование сил, вызывающих асимметрию Земли. Простейший опыт вытекает из формул (5) и определения действия (2). Из этих формул следует, что при свободном падении тела $\Phi_0=0$ и асимметричные силы должны исчезать. Отсюда должно получиться отклонение свободного падения тела от отвеса в плоскости меридиана. В умеренных широтах обоих полушарий дополнительные силы, действующие на отвес, направлены к северу. Поэтому при отсутствии этих сил должно получиться отклонение падающего тела к югу. Еще первые опыты, произведенные Гуком в январе 1680 г. по инициативе Ньютона для проверки отклонения падающих тел к востоку, привели Гука к убеждению, что падающее тело отклоняется не только к востоку, но и к югу. Эти опыты неоднократно повторялись и почти всегда приводили к тому же результату. Лучшие определения были получены инженером Рейхом во Фрейбурге ($\varphi=48°$). В этих опытах высота падения $l=158$ м. Смещение к югу получилось равным $\Delta l_S=4{,}4$ мм. Смещение же к востоку получилось $\Delta l_0=28{,}4$ мм, что хорошо согласуется с теорией. Обозначая через ΔQ_N горизонтальную слагающую асимметрических сил умеренных широт, имеем

$$\Delta l_S=-\frac{\Delta Q_N}{Q}l, \quad (9)$$

откуда $\Delta Q_N/Q=2{,}8\cdot10^{-5}$ при $\varphi=48°$. Это значение достаточно согласуется с приведенной выше величиной асимметрии тяжести.

Опыты по измерению отклонения падающих тел от отвеса чрезвычайно сложны и трудоемки. Они не дают практической возможности найти распределение сил хода времени по поверхности Земли. Однако такие определения стали возможными благодаря особому методу вибраций, найденному в опытах с гироскопами.

Представим, что гироскоп в оправе с вертикальной осью взвешивается на рычажных весах. Согласно формуле (5) дополнительные силы ΔR, действующие на ротор, должны быть направлены в сторону, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки. Так как эти силы вызваны каждой точкой ротора, то их равнодействующая будет приложена к центру тяжести ротора. Дополнительные силы $\Delta\Phi$, действующие на невращающуюся часть системы, приложены к оправе внутри гироскопа. Действительно, опыт показал, что любое вращение ротора не нарушает равновесия весов. Возникает вопрос, нельзя ли перенести точку приложения сил $\Delta\Phi$ из тела гироскопа в точку опоры коромысла, чтобы получить отклонение весов. Очевидно, для этого необходимо осуществить взаимодействие между ротором и точкой опоры на стойке весов.

Такое взаимодействие получится при вибрациях ротора в подшипниках, меняющих давление на опоре. В опытах с введением сторонних воздействий на систему вибрации чрезвычайно выгодны тем, что среднее от этих воздействий по времени равно нулю и они с классической точки зрения не могут внести в систему сил, действующих в постоянном направлении. С нашей же точки зрения в системе должны возникнуть дополнительные постоянно действующие силы, зависящие от скорости вращения гироскопа. По формулам (5) следует ожидать, что величина этих сил будет пропорциональна амплитуде сил вибраций. При вибрации ротора из-за осевого люфта в подшипниках действительно удалось наблюдать облегчение гироскопа на весах при вращении его против часовой стрелки, если смотреть по силе тяжести. При вращении же по часовой стрелке никакого эффекта на весах не наблюдалось. Оказалось, что облегчение гироскопа получается вопреки ожиданиям на совершенно определенную величину, начиная с некоторой силы вибрации. Этот результат подтверждает высказанное раньше предположение о том, что изменение хода времени может вызываться только силами, направление действия которых i совпадает с направлением вращения j. Действительно, при вибрациях ротор создает давление вниз на стойке весов, стойка же весов — противодействие на ротор вверх. Но такое расположение сил будет совпадать с вектором j только при вращении ротора против часовой стрелки, если смотреть сверху. То обстоятельство, что либо эффект облегчения наблюдается вполне определенной величины, либо он совсем не наблюдается, соответствует альтернативе: ход времени системы гироскоп — опора может быть равным, как обычно, ic_2 или быть равным из-за вибраций (ic_2+ju). С этим ходом времени уже будут связаны все причинные отношения. Поэтому весы и измеряют облегчение ротора по формулам (5), где $\Phi_0=Q$ — весу ротора. Так как ход времени получается равным (ic_2+ju) независимо от направления действия сил i, то помимо изменения величины сил должно наблюдаться и изменение направлений, т. е. аберрации сил. Этот эффект может быть обнаружен в опытах с маятником.

Представим гироскоп с горизонтальной осью, подвешенной, как тело маятника, на тонкой нити. При вибрациях ротора в подшипниках действительно наблюдалось отклонение этого маятника в сторону, откуда вращение происходило против часовой стрелки, т. е. в направлении $-j$. Описанные опыты трудно воспроизводить из-за практической сложности регулировки вибраций. В опыте же с маятником источник вибраций легко перенести в точку подвеса. Остановимся подробнее на описании такого опыта.

Гироскоп авиационной автоматики со следующими характеристиками: диаметр ротора $D=42$ мм, вес ротора $Q=250$ г при весе оправы $a=150$ г — был подвешен при горизонтальном положении оси на стальной проволоке диаметром 0,15 мм и длиной 330 см к пластинке прочно укрепленного вибратора (электромагнитного реле). Меняя частоту тока, питающего реле, можно было создать любые вертикальные дрожания подвеса. Оказалось, что отклонения этого маятника от отвеса получаются только в случае параметрического резонанса, когда нить маятника превращалась в колеблющуюся струну независимо от числа узлов. При поляризации этих колебаний с помощью щели выяснилось, что эффект получается только в том случае, когда существует достаточно большая проекция по направлению оси гироскопа. Действительно, при перпендикулярном расположении плоскости колебаний к оси гироскопа эффект неизменно отсутствовал. С поворотом этой плоскости, начиная с некоторого угла, скачком внезапно появлялось совершенно определенное отклонение, зависевшее от скорости вращения гироскопа.

Эта картина поведения маятника вполне соответствует сформулированному выше условию превращений ju в вектор хода времени. Интересно, что в этом опыте, когда причиной вибраций стала невращающаяся часть системы, эффект переменил знак: отклонение от отвеса стало наблюдаться в сторону, откуда вращение происходило по часовой стрелке. В данном опыте с причиной, т. е. с источником вибраций, связан вектор относительного вращения $+j$. При установлении такого хода времени в направлении $+j$ должны действовать все дополнительные силы, меняющие причину. В результате вес гироскопа, как причина давлений, изменится в этом же направлении $+j$, т. е. в сторону, откуда с точки зрения неподвижного наблюдателя вращение гироскопа происходит по часовой стрелке.

Итак, если источник вибрации связан с ротором, сдвиг маятника должен наблюдаться в сторону вращения против часовой стрелки, а при источнике вибрации в точке подвеса — в сторону по часовой стрелке. Этот результат является интересной иллюстрацией возможности отличить причину от следствия механическим опытом, что характерно для существа причинной механики. Приведем теперь численные результаты описанного опыта:

Угловая скорость, об/с	Линейная скорость вращения, м/с	Линейное отклонение от отвеса, мм
200	26	0,08
300	40	0,12
400	53	0,16

Таблица вполне подтверждает, что дополнительные силы пропорциональны скорости вращения. Приведенное к скорости $u=40$ м/с отношение изменения веса ротора ΔQ к полному весу $Q+a$ получилось равным $3{,}6\cdot10^{-5}$. Для получения отношения $\Delta Q/Q$ необходимо это значение исправить за вес оправы умножением на $(Q+a)/Q$. Специальными опытами, при которых нарочито увеличивался вес невращающейся части тела маятника, было показано, что такое исправление действительно необходимо. В результате при $u=40$ м/с имеем $\Delta Q/Q=5{,}7\cdot10^{-5}$. Отсюда по формуле (5) получаем значение $c_2=700$ км/с. Поэтому возможно, что в формуле (6) $\alpha=2$ и $c_2=2e^2/h$. Силы, действующие на гироскоп, оказались того же порядка, что и дополнительные силы, возникающие от вращения Земли. Земля и гироскоп столь резко отличаются размерами и угловыми скоростями вращений, что равенство вызванных ими эффектов является прекрасным доказательством пропорциональности дополнительных сил линейным скоростям вращения.

В опыте с гироскопом, подвешенным на нити, оказалось, что, когда ось гироскопа расположена по меридиану, у него обнаруживается еще некоторое дополнительное смещение. Очевидно, это смещение связано с асимметричными силами вращения Земли. Например, при трехстах оборотах ротора в секунду и при положении вектора вращения гироскопа $+j$ к северу получалось отклонение 0,18 мм (длина маятника 330 см), при противоположном же расположении оси вращения смещение составляло только 0,05 мм. Очевидно, что при вибрациях возникает еще эффект смещения к северу порядка 0,06 мм. Этот эффект не зависит от скорости вращения гироскопа и наблюдается при вибрации любого невращающегося тела, подвешенного на нити.

Условия, необходимые для получения эффекта смещения маятника из-за вращения Земли, во всем подобны описанным выше условиям смещения гироскопа. При вибрации точки подвеса эффект отклонения к северу получается только при параметрическом резонансе, когда осуществляется достаточно большая проекция напряжений в плоскости меридиана. Оказалось, что маятник можно в плоскости меридиана раскачать или остановить, осуществляя переход от нерезонансной частоты к резонансу при прохождении маятника около положения равновесия. Этим путем удавалось значительно раскачать маятник и установить, что плоскость, в которой получается раскачивание, действительно близка к плоскости меридиана. В Пулкове эти опыты были выполнены с маятниками различной длины — от полутора до одиннадцати метров. Относительное смещение оказалось независящим от длины маятника и равным $1{,}9\cdot10^{-5}$. Таким образом, смещение маятника вызывается определенной силой, не зависящей от его конструкции. Эта сила значительно меняется с географической широтой. Так, в г. Кировске

относительное смещение маятника получилось равным только $0{,}9 \cdot 10^{-5}$.

Не подлежит сомнению, что измеряемые по смещению маятника силы являются горизонтальными проекциями асимметрических сил, действующих на поверхности Земли. Вертикальные же проекции асимметрических сил можно пытаться получить при вибрации системы с вертикальной степенью свободы. Такой системой будут рычажные весы при вертикальных вибрациях опоры коромысла. Необходимо только осуществить различную степень упругости в подвесах уравновешивающих грузов. В поставленных опытах один груз подвешивался жестко на проволоке, другой — на эластичной резине или пружине. При вибрациях опоры конец коромысла с жестко подвешенным грузом оставался практически неподвижным. Поэтому другой его конец с эластичным подвесом колебался с амплитудой, в два раза большей амплитуды его середины. Оказалось, что, начиная с некоторого ускорения вибраций, весы скачком отклоняются на определенную величину в сторону утяжеления груза, находящегося на эластичном подвесе. Эта дополнительная сила, смещающая показания весов, оказалась независящей от типа весов и пропорциональной весу груза.

Измеренные силы существенно зависят от широты. Сопоставление этих сил с горизонтальными компонентами ΔQ_N, полученными на маятниках в Пулкове и Кировске, доказывает, что они являются вертикальными компонентами асимметрических сил ΔQ_Z. Действительно, поскольку асимметричные силы действуют по оси Земли, отношение $\Delta Q_Z/\Delta Q_N$ должно быть равным $\operatorname{tg}\varphi$. Вычисленные таким образом значения широты оказались для Пулкова меньше на 16′ и для Кировска больше на 21′.

Перейдем теперь к интерпретации наблюдавшихся явлений. Взаимодействие масс Земли, вращающихся с разными линейными скоростями, приводит к возникновению на поверхности Земли дополнительных сил, выраженных формулой (7). Этот результат равносилен тому, что с каждой точкой поверхности Земли связан вектор хода времени $\bar{ju}$, направленный в умеренных широтах к северному полюсу. При вибрациях сила, действующая в направлении $\ddot{ju}$, может возбудить в системе ход времени $\pm\bar{ju}$, вызывающий дополнительные силы. Так, в опыте с маятником при параметрическом резонансе нити будет существовать в нашем полушарии приложенная к телу маятника проекция силы вибрации в направлении $\bar{ju}$, т. е. к северу по оси вращения Земли. Начиная с некоторой силы вибрации, во всей системе установится ход времени с вектором $+\bar{ju}$ в теле

маятника и вектором $-\bar{ju}$ в точке подвеса. Отсюда появятся силы, определяемые выражением (7) и отклоняющие маятник к северу, с противодействием к югу в точке подвеса. В опыте с весами вибрации вызывают на опоре весов силы, направленные вверх, т. е. создают проекцию сил в направлении $\bar{ju}$. Поэтому, начиная с некоторой силы вибрации, может установиться ход времени с вектором $+\bar{ju}$ на стойке весов и вектором $-\bar{ju}$ на эластично подвешенном грузе. В результате весы покажут утяжеление этого груза на величину, определяемую вертикальной проекцией сил (7).

В первоначальном варианте опытов с весами вибрации осуществлялись с помощью электромагнитного реле, к которому прикреплялась опора коромысла весов. При этом возникали сложные колебания с шумом без простых гармоник. Эффект получался лишь при некотором удачном выборе частоты и амплитуды. Существенное усовершенствование опыта было достигнуто введением гармонических колебаний с помощью шарикового подшипника, посаженного эксцентрично на вал электромотора. При таких колебаниях эффект стал получаться очень легко. С ростом же частоты вибраций вместо одиночного эффекта скачком появлялся двойной эффект, затем тройной и т. д., практически любой кратности. Увеличение ускорений вибраций ограничивалось приближением к ускорению силы тяжести. При таком ускорении начинался сильный бой коромысла весов об опору, мешавший правильному взвешиванию. Вблизи этого предела удавалось получать пяти- и даже десятикратные эффекты. В результате точность определения однократного эффекта могла быть повышена в несколько раз.

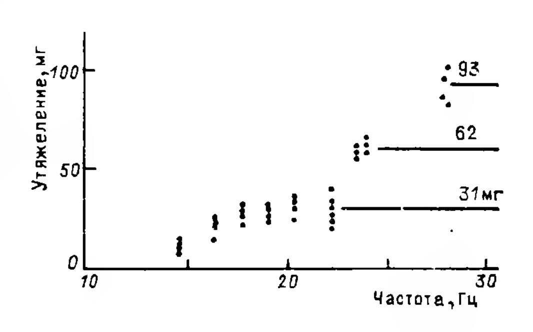


Рис. 1. Зависимость утяжеления груза на упругом подвесе от частоты вибраций.

Рис. 1 воспроизводит типичный график зависимости утяжеления груза от частоты вибраций. Эти измерения были произведены Ю. И. Кулаковым и автором в Пулкове на рычажных весах II-го класса завода «Госметр». На графике приведены результаты взвешивания груза 620 г, пересчитанные на 1 кг. Амплитуда колебаний опоры коромысла составляла около 0,3 мм. Таким образом, ускорение вибраций на опоре должно было достигать g при частоте около 30 гц. На графике совер-

20 Заказ № 23

шенно отчетливо выделяются три ступени утяжеления груза. Величина ступени получается около 31 мг на 1 кг, т. е. $3{,}1 \times 10^{-5}$, что близко к значению $3{,}2 \cdot 10^{-5}$, полученному из многих измерений.

Ступени в показаниях весов очень интересны. Они указывают на возможность квантовых изменений энергии, характерных для атомной механики. Происхождение ступеней можно понять следующим образом. Система весов с одиночным эффектом принципиально не отличается от весов без вибраций. Поэтому если на весы с одиночным эффектом добавить еще новое ускорение вибраций, какое нужно для создания одиночного эффекта, то весы должны будут показать двойное отклонение. Так как ускорения вибраций пропорциональны квадратам частот, то для получения кратных эффектов частоты должны увеличиваться в $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$ и т. д. раз. Это обстоятельство приблизительно и подтверждается рис. 1. Надо заметить, что с приближением ускорений к g на стойке весов будут происходить удары, приводящие к очень большим, хотя и кратковременным ускорениям. Поэтому вблизи g ничтожные изменения частоты вибраций могут вызывать появление эффектов высокой кратности.

Для понимания опыта с весами необходимо обратить внимание еще на следующее обстоятельство. При вибрациях силы, возбуждающие дополнительный ход времени, имеют необходимые величину и направление только в течение некоторой доли периода. Устойчивость эффекта показывает, что возбуждаемый ход времени сохраняется в течение всего периода. Получается интересное заключение о существовании конечного времени жизни возбужденного состояния. Иными словами, система продолжает некоторое время сохранять ход времени после исчезновения условий, необходимых для его возбуждения. Вероятно, этим объясняется полученное на графике пологое нарастание эффекта утяжеления перед первой ступенью. Очевидно, при тех частотах период колебаний еще велик в сравнении с продолжительностью жизни возбужденного состояния. Для резкого выделения первой ступени измерения следует вести с малыми амплитудами, чтобы иметь дело с достаточно коротким периодом.

Описанный опыт с весами замечателен простотой осуществления и поразительным результатом. Ведь если из-за дополнительного хода времени, вызванного колебаниями напряжений в опоре и эластичном подвесе, появляется увеличение натяжения подвеса, то это натяжение должно быть обусловлено причиной, т. е. соответствующим увеличением веса груза. Значит, возможно воздействием на следствие вызывать изменение причины. Этот результат означает возможность обращения причинно-следственных отношений, которая существует благодаря конечности хода времени.

Для изучения распределения асимметричных сил на поверхности Земли особый интерес представляют полярные районы, где проходит параллель с нулевым значением этих сил и где изменение этих сил с широтой должно быть особенно быстрым. Соответствующие измерения были выполнены Н. А. Козыревым и В. Г. Лабейшем благодаря содействию Географического общества в лице проф. Я. Я. Гаккеля, оказавшего большую помощь в организации этих исследований. В апреле 1959 г. указанная группа была включена в состав полярной экспедиции Института арктических и антарктических исследований. Измерялась вертикальная компонента асимметрических сил по утяжелению груза на эластичном подвесе при вибрации весов. Эти измерения были выполнены в Амдерме, Тикси, на о. Котельный, мысе Челюскина, о. Диксон и в ряде пунктов на дрейфующем льду с максимальной широтой 84°15′. Значение полного вектора асимметричных сил было получено умножением измеренных значений на cosec φ. На рис. 2 представлен график зависимости этих сил, выраженных в долях силы тяжести, от широты. Здесь приведены и прежние определения в Крыму, Пулкове и Кировске. Все полученные точки располагаются выше нулевой линии. Ход кривой показывает, что использованный метод позволяет определять только абсолютную величину сил и не дает их знака. Этот результат можно было предвидеть. Действительно, за нулевой параллелью вектор хода времени направлен вниз. Поэтому возбуждающая его сила вибраций того же направления будет существовать теперь не на стойке весов, а на упругом подвесе. Следовательно, при появлении дополнительного хода времени добавочная сила будет действовать вниз на груз, и попрежнему произойдет утяжеление груза на упругом подвесе.

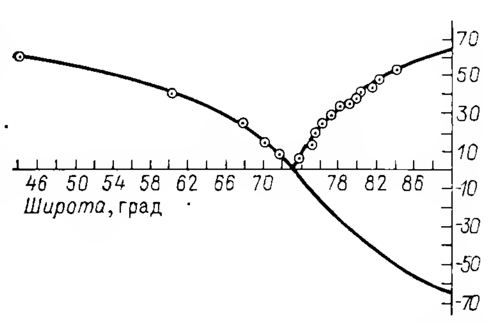


Рис. 2. Зависимость величины полного вектора сил хода времени, вызванного вращением Земли, от географической широты.

Проведенная на рис. 2 монотонная кривая представляет те же значения сил, только с учетом их знака. Кривая показывает, что параллель нулевого значения асимметрических сил находится около 73°,0. Экстраполируя полученную кривую, можно получить довольно уверенно значение сил хода времени на полюсе:

$$\left(\frac{\Delta Q}{Q}\right)_{\varphi=90^\circ} = j\,\frac{\bar{u}}{c_2} = -6{,}5 \cdot 10^{-5} j. \qquad (10)$$

Около параллели нулевого значения сил ($\varphi=73°$) было обнаружено, что при больших ускорениях вибрации весов все равно получается значительное изменение веса. Так, на о. Диксон ($\varphi=73°30'$) вблизи возможного предела ускорений вибрации весов эффект составлял 60 мг при грузе 720 г. Такой эффект мог получиться в результате накопления большого числа ступеней, ~20—30, или как некоторый классический эффект нелинейности больших колебаний. Для решения этого вопроса были предприняты специальные измерения к югу от о. Диксон

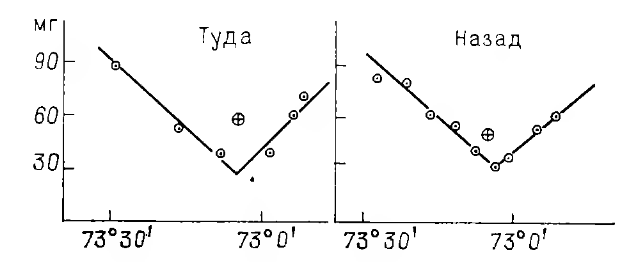


Рис. 3. Результаты измерений максимальных отклонений весов вблизи нулевой параллели.

Слева показаны измерения при движении вперед, т. е. из Диксона на юг, а справа — измерения при движении назад. ⊕ — точка, выпадающая из общего хода измерений.

вдоль восточного берега Енисейского залива, заключавшиеся в измерении максимального отклонения стрелки весов вблизи боя коромысла, но когда еще можно было вести взвешивание. Результаты этих измерений в маршруте туда и обратно представлены на рис. 3. По оси ординат отложены наблюдавшиеся отклонения весов, пересчитанные на 1 кг. Расположение точек на рис. 3 показывает, что в основном наблюдался реальный эффект высокой кратности. Вершина угла полученной кривой подобна углу на рис. 2 и должна соответствовать нулевой параллели. Ее значение получилось равным 73°05′ с точностью до 1′. Такая высокая точность получилась из-за того, что определялся почти двадцатикратный эффект. Неполное исчезновение эффекта на нулевой параллели свидетельствует о возникновении некоторой ошибки взвешивания при очень больших вибрациях.

Существование широтного эффекта показывает, что утяжеление груза при вибрациях нельзя объяснить тривиальным образом по законам обычной механики. На связь утяжеления груза с вращением Земли указывает еще азимутальный эффект, обнаруженный в том же опыте с весами. Оказалось, что частоты, т. е. ускорения вибраций, нужные для появления ступеней утяжеления, зависят от азимута коромысла весов. Наименьшая частота, вызывающая эффект утяжеления, получается, когда груз на эластичном подвесе расположен к югу от стойки весов. Наибольшая же частота требуется при положении этого груза к северу. Азимутальный эффект, вообще говоря, очень значителен. Например, если при расположении груза к северу для возбуждения первой ступени была нужна частота 35 Гц, то при расположении к югу была достаточна частота 25 Гц. Для понимания этого эффекта надо иметь в виду, что возбуждаемые на весах силы направлены по оси Земли и поэтому имеют горизонтальные компоненты: к югу для груза и к северу для стойки весов. Если бы коромысло имело еще и горизонтальную подвижность, то его устойчивое положение было бы при расположении груза к югу от стойки весов. Возможно, что такое положение и является наиболее благоприятным для получения эффекта. Мы подошли к очень интересному вопросу о том, какой должна быть сила вибраций, действующая по оси вращения, чтобы вызвать в системе дополнительный ход времени, изменяющий причинные связи. Очевидно, этот вопрос относится к проблеме прочности причинных связей.

Можно ввести такое понятие, как коэффициент прочности причинных связей, определив его отношением силы, достаточной для изменения причинной связи, к силе, создающей эту причинную связь. Например, для опыта с весами таким коэффициентом будет отношение ускорения вибраций, нужное для получения первой ступени, к ускорению силы тяжести. Для данных рис. 1 коэффициент прочности получается порядка 20—30 %. Наблюдения показали, что, несмотря на строгое соблюдение одних и тех же условий опыта, этот коэффициент меняется в очень широких пределах — от нескольких и почти до ста процентов. Очевидно, он меняется в силу каких-то сторонних обстоятельств, лежащих вне лаборатории. Часто наблюдались внезапные и совершенно нерегулярные изменения этого коэффициента, происходящие в течение нескольких минут. Создается впечатление, что этими наблюдениями удается улавливать свидетельства о каких-то процессах, происходящих вне лаборатории и, возможно, вне Земли. В опыте с вибрацией подвеса маятника очень трудно добиться, чтобы сила вибраций в направлении земной оси превышала 10 % от веса. При неблагоприятных условиях такие силы могут оказаться недостаточными для получения эффекта. Поэтому опыт с маятником далеко не всегда дает эффект отклонения. На рис. 4 приведены результаты трехлетних наблюдений над маятником, находившимся все время в одинаковых условиях. Здесь вертикальный масштаб дан в соответствии со следующей пятибалльной шкалой появления эффекта: 0,5 — намек на эффект, 1 — получается с трудом на очень сильном резонансе, 2 — на среднем, 3 — на малом, 4 — почти без резонанса. На этом рисунке приведены средние из данных за декаду. Получается замечательная общая закономерность условий появления эффекта: причинные связи легче

всего могут быть изменены поздней осенью и зимой. Летом же они делаются наиболее прочными и летом эффект на маятнике еще ни разу не наблюдался.

Совершенно так же не всегда удается наблюдать эффект смещения гироскопа с горизонтальной осью при вибрациях подвеса. Однако если ось подвешенного на нити гироскопа наклонена к горизонту так, что сверху вращение кажется происходящим по часовой стрелке, то уже небольшие вибрации подвеса будут создавать проекции сил в направлении $+j$, достаточные для возбуждения горизонтального смещения гироскопа. При таких условиях параметрический резонанс не нужен, и опыт с гироскопом всегда может быть легко воспроизведен. Например, в опыте при наклоне оси гироскопа 60° к горизонту смещение в направлении оси, как и следовало ожидать, составило половину от смещения при горизонтальном расположении оси. В этом случае проекция сил вибраций на ось мало отличалась от их полной величины, и эффект смещения возбуждался очень легко на любой частоте и при малой амплитуде. При обратном же вращении гироскопа силы вибраций в направлении $+j$ отсутствуют, и потому никакого отклонения гироскопа от отвеса не получалось.

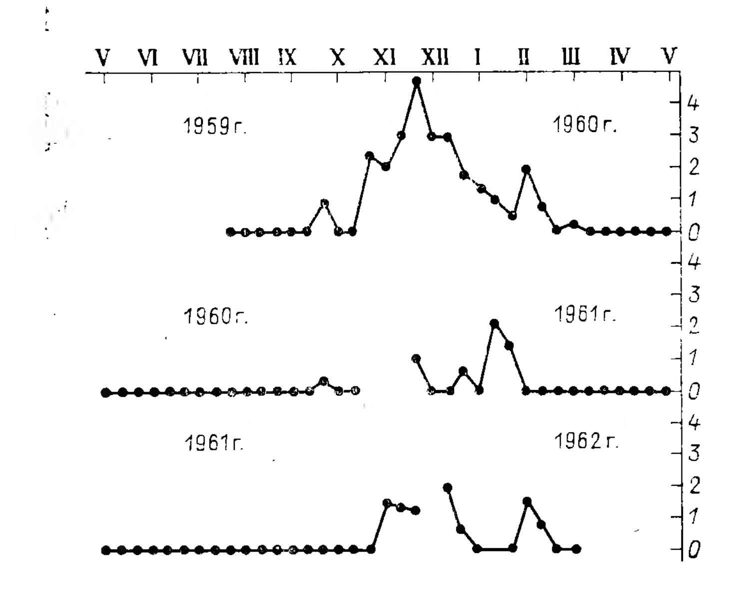


Рис. 4. Результаты систематических наблюдений над появлением эффекта отклонения маятника при вибрациях точки его подвеса.

На первый взгляд может показаться, что различие условий воспроизведения опытов при соблюдении тех же лабораторных обстоятельств является неправдоподобным и что оно бросает тень на реальность изложенных здесь результатов. Однако если время действительно есть физическое явление, то оно не может обладать только одним неизменным свойством хода. С самой общей теоретической позиции мы должны ожидать существования у времени свойств, которые могут меняться. Естественно полагать, что наблюдаемая прочность причинных связей оказывается различной из-за переменного свойства времени, которое может быть названо его интенсивностью. Это свойство времени подобно интенсивности света, которая характеризует свет помимо постоянной скорости его распространения. Изменение интенсивности времени должно происходить из-за каких-то пока невыясненных физических процессов. Уже одна возможность регистрации этих изменений показывает, что действие систем на другие системы может передаваться через время, без силовых полей.

Большинство описанных опытов было выполнено благодаря большому и инициативному участию В. Г. Лабейша в их постановке. Постоянную и существенную помощь оказывал С. Г. Наливаев. С Ю. И. Кулаковым происходили важные и интересные обсуждения этих вопросов. Автор пользуется случаем выразить этим лицам свою глубокую признательность за их внимание и интерес к этим работам. Произведенные опыты показывают возможность изучения сути причинности и свойств времени с помощью физического эксперимента. Из этих опытов вытекают следующие основные свойства времени:

1. Ход времени не может изменить общего количества движения системы.
2. Ход времени может создавать дополнительные напряжения в системе и тем самым менять ее потенциальную и полную энергию. Поэтому ход времени может быть источником энергии. Для астрофизиков этот вывод имеет большое значение, ибо, вероятно, этим механизмом поддерживается свечение звезд.
3. Ход времени может изменять момент вращения системы.
4. Ход времени является псевдоскаляром, и благодаря этому в Мире устанавливается принципиальное отличие правого от левого.
5. Благодаря конечности хода времени причинные связи не являются абсолютно прочными. Имеется возможность их видоизменять и даже обращать, т. е. влиять следствием на причину.
6. При изменении причинных связей могут получиться квантовые значения энергии системы, характерные для атомной механики.

С теоретической точки зрения наиболее интересным является дальнейшее развитие исследований в направлении изучения прочности причинных связей и природы изменений интенсивности времени.

Различие климатов обоих полушарий Земли, особенно различие океанических течений, несимметричное расположение континентов и многие другие разнообразные явления на Земле указывают на существенную роль асимметрических сил. Поэтому измерение этих сил в различных географических пунктах должно представлять большой интерес для наук, изучающих Землю. Необходимо усовершенствовать методику и распространить эти измерения на южное полушарие, доведя их по возможности до полюса.

НЕИЗВЕДАННЫЙ МИР

С первых дней жизни начинается познание человеком окружающего его Мира. В маленьком Мире ребенка все целесообразно. Ребенок знает, что, спросив: «Для чего?» — он получит ответ на этот вопрос. Но вот расширяется Мир, растворяется окно, и под шум капель весеннего ливня раздается вопрос: «Почему идет дождь?».

— Помнишь, я спросил, для чего ты разорвал картинку, а ты сказал — это я не нарочно, я просто потянул за уголок, и она разорвалась? Так и дождь, он идет не нарочно, он идет потому, что в небе собрались темные тучи.

Так постепенно все больше и больше новый вопрос «почему?» начинает вытеснять обычный в детстве вопрос «для чего?». Опыт нашей жизни показывает, что вопрос этот законный, что на него следует искать ответ. Таково глубочайшее свойство Мира, называемое причинностью. Благодаря этому свойству возможно научное познание.

Вероятно, трудно отказаться ребенку от милого для его сердца целесообразного восприятия Мира и перейти к суровой причинности естествознания. Но здесь помогает система школьных занятий, которая, по выражению гётевского Мефистофеля, дух человека дрессирует и зашнуровывает в испанский сапог логического мышления. Знакомство со строгой логикой математических доказательств дает возможность пользоваться замечательным инструментом математического анализа. Этим инструментом можно из опытов естествознания извлекать далекие выводы и оценивать их достоверность. Постоянно встающий перед естествоиспытателем вопрос «почему?» ведет его все дальше в поисках глубоких принципов, охватывающих возможно более широкий круг явлений. В конечном счете эти принципы должны выражать основные свойства материи, пространства и времени. Логика и математика превратили учение об этих общих свойствах Мира в точную науку — теоретическую механику, являющуюся гордостью человеческой мысли. По своему содержанию эта наука должна быть высшим обобщением наших знаний о Мире и быть сутью естествознания.

Так почему же, несмотря на ее значение и успехи, она эмоционально воспринимается нами как наука сухая, а может быть, даже и скучная? Едва ли обманывает нас это ощущение. Скорее всего, оно указывает на неполноценность принципов точных наук. Дело заключается не в тех несовершенствах

Козырев Н. А. Неизведанный мир//Октябрь. 1964. № 7. С. 183—192.

знаний, которые могут постепенно устраняться ходом научных исследований, а в глубокой неадекватности Мира точных наук и действительного Мира, в котором живем мы. Разрыв этот настолько глубокий, что в точных науках нет даже перспективы передать великую гармонию жизни и смерти, являющуюся сущностью нашего Мира. Нарушив эту гармонию, точные науки исследуют только процессы увядания и смерти...

Действительно, статистическая механика показывает, что всякая система из большого числа частиц должна переходить из маловероятного первоначального состояния в состояние наиболее вероятное, являющееся поэтому равновесным. Около равновесного состояния возможны малые колебания — флюктуации, вероятности которых могут быть сосчитаны. Вероятность такой большой флюктуации, которая могла бы вернуть систему в первоначальное состояние, оказывается столь малой, что она равносильна полному запрету этого обратного процесса. С этой точки зрения переход Мира в равновесное состояние, а значит, и его смерть оказываются неизбежными и необратимыми. Восстановить маловероятные условия может только вмешательство другой системы. Но в реальной Вселенной космические тела так изолированы друг от друга, что переход каждой системы в равновесное состояние должен произойти раньше, чем со стороны сможет прийти новый, оживляющий толчок. Мир должен стать однообразным, как пустыня. Даже этот один вывод, столь резко противоречащий наблюдаемой картине Мира, может служить доказательством неполноценности принципов точных наук, логическим методом приведения к абсурду. Значит, всюду в сверкающем разнообразием Мире идут непредусмотренные механикой процессы, препятствующие его смерти. Эти процессы должны быть подобны биологическим процессам, поддерживающим жизнь организмов. Поэтому их можно назвать процессами жизни и в этом широком смысле говорить о жизни космических тел или других физических систем. Мир однороден, и в каждой случайной капле можно найти все его свойства. Поэтому жизненные процессы должны наблюдаться и в простейших механических опытах наших лабораторий.

Может показаться, что весь опыт огромной современной техники доказывает безупречность принципов классической механики и невозможность их принципиального изменения. Надо, однако, иметь в виду, что инженер рассчитывает машину приближенно, обычно с логарифмической линейкой, то есть с точностью до трех-четырех знаков. Новые же поправки, если их не создавать специально, могут быть существенно меньше. Кроме того, если инженер и видит нечто необычное в поведении его механизма, он не станет обдумывать заново принципы механики, а постарается опытным путем добиться нужной ему работы машины. Машина работает согласно принципу статистической механики о направленности процессов в сторону деградации, то есть выравнивания энергетических уровней системы. Если же механика действительно позволит нам обнаружить процессы жизни вне организмов и научит нас управлять ими, тогда работающие машины будут обновлять, а не исчерпывать активные возможности Мира. Так может установиться подлинная гармония человека с природой. Это не несбыточная мечта; как ни удивительно, но она имеет под собой реальную основу.

На заре девятнадцатого века, в период небывалого триумфа точных наук, знаменитый математик и астроном Лаплас писал, что разумное существо, знающее все силы природы и полную картину состояний в некоторый момент времени, могло бы знать все о Мире: «Ничего не осталось бы для него неизвестным, и оно могло бы обозреть одним взглядом как будущее, так и прошедшее». В такое общее утверждение, очевидно, включается и поведение всех живых существ. Но нельзя согласиться с существованием такого полного детерминизма. Ведь тогда можно точно предсказывать поступки человека, а это будет означать отсутствие свободы выбора, что совершенно противоречит существующему у нас чувству моральной ответственности.

Иссушающий Мир жесткий детерминизм действительно вытекает из уравнений механики и является сущностью ее законов. Уравнения позволяют одинаково точно предвычислять явления как в будущем, так и в прошедшем. Поскольку причины предшествуют следствиям, такая возможность будет только при полной равноценности причин и следствий. «Causa aequat effectum» — принцип, сформулированный еще в старинных сочинениях по механике. Принцип же этот совершенно противоречит причинности естествознания и всему существу этих наук. Натуралист всегда отличит причину от следствия по ряду признаков. Например, если при воспроизведении явления А всегда появляется явление В, то значит А — причина, а В — следствие. Наоборот, воспроизводя В, мы не обязательно встретимся с явлением А, ибо следствие В может быть вызвано не только явлением А, но и другими причинами. При равноценности причин и следствий нельзя ставить вопрос «почему?». Поэтому точные науки могут отвечать только на самый примитивный вопрос в познании Мира — на вопрос «как?» — и давать описание происходящих явлений в пространстве и времени.

На первый взгляд кажется парадоксом, что точные науки при всем их могуществе являются просто описательными науками. Дело тут в том, что точные науки дают описание явлений не только в пространстве, но и во времени (а это нелегко!), и описание осуществляется ими с высокой степенью точности. Если поверить в безусловную истинность принципов точных наук, то познание Мира оказывается невозможным. Мир можно только описывать, и законы природы становятся просто рецеп-

тами экономного описания явлений или наших ощущений, поскольку через них познаются явления. Итак, мы приходим прямо к философии позитивизма и эмпириокритицизма Э. Маха. Мах был прекрасным физиком и ученым отличного логического мышления. К своей философии он пришел анализом принципов точных наук. Поэтому полное несоответствие философии Маха всему, что мы знаем о Мире, великолепно показывает несостоятельность этих принципов по методу приведения к абсурду. Мах не сделал этого вывода, а считал, что он построил новую философскую доктрину. Полная несостоятельность этой доктрины была блестяще доказана В. И. Лениным.

Разрыв между точными науками и естествознанием должен исчезнуть, если в основы точных наук будет положен принцип причинности, отличающий причины от следствий. Во времени причина всегда предшествует следствию. Еще Лейбниц пришел к выводу, что различие причин от следствий равносильно различию будущего и прошедшего. Это означает объективное существование направленности времени или его течения. Это свойство времени должно быть введено в механику. С ним мы постоянно встречаемся в нашей жизни и в естествознании. Но оно является совершенно новым не только для механики, но и для всей современной физики. Интересно, что об этом писал еще академик В. И. Вернадский в книге о проблемах биогеохимии (1939 год): «...время натуралиста не есть геометрическое время Минковского и не время механики и теоретической физики, химии, Галилея или Ньютона».

Действительно, механика пользовалась только «геометрическим» свойством времени, его длительностью, то есть интервалами между событиями. Эти интервалы времени измеряются часами и имеют такие же пассивные свойства, как интервалы между точками пространства, которые измеряются метром. Только это свойство точные науки и считают объективно существующим, полагая другие свойства времени субъективными, то есть следствиями нашей психологии. При реальном же отличии причин от следствий ход времени должен быть физической величиной, имеющей определенное математическое выражение, и должен входить в уравнения механики. Физический смысл и математическое выражение хода времени могут быть получены из пространственно-временных свойств причинности.

Причины всегда приходят со стороны. Они являются обстоятельствами внешними по отношению к тем телам, где возникают их следствия. Поэтому между причинами и следствиями всегда существует сколь угодно малое, но не равное нулю пространственное различие. Помимо этого пространственного свойства причинных связей есть и временно́е: причины предшествуют следствиям, поэтому между ними всегда существует сколь угодно малое, но не равное нулю различие во времени определенного знака. Отношение пространственных различий к этим

временным может быть конечной величиной. Она определяет скорость превращения причин в следствия. При заданном пространственном различии эта величина будет тем больше, чем меньше временное различие между причиной и следствием, то есть тогда, когда быстрее течет время. Поэтому скорость превращения причин в следствия, которую мы обозначим через C_2, может служить мерой хода времени.

В механике силы являются причинами, вызывающими появление других сил или изменяющими количество движения тел. Если согласно Даламберу изменение количества движения в единицу времени рассматривать как силу инерции, то силы будут не только причинами, но и возможными следствиями. Силы инерции могут появиться только под действием внешней силы, то есть под действием со стороны другого тела. С точки зрения классической механики Ньютона при передаче действия одного тела на другое всегда будет последнее звено, где в силу непроницаемости материи остается сколь угодно малое, пусть точечное, но не равное нулю пространственное различие. Таким образом, одно из основных свойств причинности — необходимость пространственного различия причин и следствий — входит в систему классической механики. При этом, однако, причины не отличались от следствий. Следовательно, в этой системе временно́е различие предполагается равным нулю. Значит, механика Ньютона отвечает Миру с бесконечно большим ходом времени ($C_2=\infty$). Величина хода времени может служить также и мерой прочности причинных связей. При бесконечном значении хода времени изменить его нельзя никак; все причинные связи становятся абсолютно прочными, и получается полная детерминированность Мира.

В теоретической физике взаимодействие частиц описывается с помощью силового поля, ставшего благодаря теории относительности физической реальностью, то есть материей. Силовые поля могут складываться. При такой возможности наложения принцип непроницаемости материи перестал играть роль основного принципа. В результате перестал быть существенным и принцип пространственной несовместимости причин со следствиями. Вместе с тем в квантовой теории современной физики — и это впервые в точных науках — появилась неравноценность в возможностях предсказаний прошедшего и будущего. Оказывается возможным предсказать поведение системы после воздействия на нее макроскопическим телом — прибором и невозможным предвычислить поведение систем до этого воздействия. Это означает, что при воздействии на систему временно́е различие между будущим и прошедшим принципиально не может быть равным нулю. Значит, в той дроби, которая определяет величину хода времени C_2, знаменатель не равен нулю. Числитель же согласно теории поля должен считаться равным нулю. Следовательно, концепция современной атомной механики

отвечает Миру, в котором $C_2=0$. Мир атомной механики — это Мир, где нет течения времени и причинно-следственные связи не имеют никакой прочности, а значит, просто отсутствуют. Понятие силы становится излишним и может быть заменено понятием энергии, не заключающим в себе причинного смысла. Мир, в котором нет течения времени, является Миром неопределенностей — индетерминизма, где могут быть только статистические закономерности. Теория может дать рецепты вычисления наблюдаемых физических величин, но проникновение в сущность явлений оказывается принципиально невозможным. В ограниченной области физических явлений такая теория смогла привести к научным открытиям первостепенного значения, огромного практического эффекта. Но это совершенно не доказывает полного соответствия Мира квантовой механики реальному Миру. Мир индетерминизма еще горше Мира полной детерминированности точных наук классического периода. Распространение принципов квантовой механики на весь Мир привело бы к обесцениванию научного познания и нигилизму. Руководство же в жизни принципом, что все не имеет смысла, должно вызвать циничное отношение ко всем высоким побуждениям и стремлениям души человека. «Ты веришь в играющего в кости бога, а я — в полную закономерность в Мире объективно сущего...»,— писал в 1947 году Эйнштейн Максу Борну, одному из основателей квантовой механики, открывшему статистическую интерпретацию решения ее уравнений. В те годы в этих своих взглядах Эйнштейн был почти одинок. Но времена изменились, и теперь физики, задумывающиеся над основами своей науки, не удовлетворяются одной внешней стороной логического построения, а стремятся найти новые принципы, отвечающие реальному Миру и, значит, материалистической философии.

Истинная механика, то есть механика действительного Мира, должна быть основана на принципах причинности естествознания. В частности, она должна удовлетворять условиям пространственного и временного различия причин и следствий и быть, следовательно, механикой конечного хода времени. Такая механика должна включать в себя как две крайних схемы механику классическую ($C_2=\infty$) и механику атома ($C_2=0$).

Мир с конечным ходом времени не является просто промежуточным между Миром классической механики и Миром механики атома. Конечный ход времени становится физической реальностью, наделяющей Мир новыми качествами. Превращение причин в следствия требует преодоления «пустой» точки пространства. Без дальнодействия перенос через эту бездну действия одной точки на другую может осуществляться только с помощью течения времени. В элементарном акте этого переноса уже нет материальных тел, есть только пространство и время. Поэтому скорость превращений причин в следствия, то

есть величина C_2, едва ли зависит от свойств тел. Скорее всего, она является постоянной величиной, единой для всего Мира. Мы видим, что процессы в Мире происходят не только во времени, но и с помощью времени. Ход времени является активным свойством, благодаря которому время может оказывать механические воздействия на материальные системы. Естественно думать, что ход времени является неотъемлемым его свойством, подобным тому как скорость $C_1=300\,000$ км/с является обязательным свойством света. Тогда непрестанное течение времени, воздействуя на материальные системы, будет препятствовать наступлению равновесных состояний. Следовательно, в свойствах времени и следует искать источник, поддерживающий жизненные явления Мира.

Понятие течения времени должно быть связано с направленностью. Иными словами, величина C_2 должна иметь определенный знак. Логически следует иметь возможность представить Мир, в котором течение времени имеет другую направленность, то есть Мир с другим знаком C_2. Теперь допустим, что из точки следствия мы рассматриваем причину. Тогда при любом направлении ход времени должен быть направлен в нашу сторону. В чем же может сказаться перемена направленности времени? Геометрия оставляет единственную возможность ответа: течение времени — это не просто скорость, а линейная скорость поворота, который может происходить по часовой стрелке или против. Понятия по и против часовой стрелки равносильны понятиям правое и левое. Так, имея перед собой плоскость волчка, мы можем сказать, что вращение происходит по часовой стрелке, когда самая удаленная от наших ног точка волчка идет вправо, а против часовой стрелки, когда она идет влево. Возвращаясь к прежней позиции, когда из следствия мы рассматривали причину, допустим, что течение времени представляет собой поворот направо. Это обстоятельство условно отметим знаком плюс у C_2. Теперь отразим себя в зеркале. Для лица, заменяющего нас в зеркале, отмеченный нами поворот вправо будет поворотом влево. Поэтому наше зеркальное отображение должно ставить у C_2 знак минус. Но это означает, что для него время течет в противоположную сторону. Итак, Мир с противоположным течением времени равносилен нашему Миру, отраженному в зеркале.

В зеркально отраженном Мире полностью сохраняется причинность. Поэтому в Мире с противоположным течением времени события должны развиваться столь же закономерно, как и в нашем Мире. При другом направлении времени человек будет ходить, как обычно, лицом вперед, и для него поменяются местами только правое с левым. Ошибочно думать, что, пустив кинофильм нашего Мира в обратную сторону, мы получим картину Мира противоположной направленности времени. В законах природы нельзя формально менять знак у промежутков

времени. Это приводит к нарушению причинности, то есть к нелепости, к Миру, который не может существовать. Если течение времени влияет на материальные системы, то при изменении его направленности должны измениться и эти влияния. Поэтому Мир, отраженный в зеркале, по механическим свойствам должен отличаться от нашего Мира. Классическая же механика утверждает тождественность этих Миров. До недавнего времени эту тождественность полагала и атомная механика, называя ее принципом сохранения четности. Однако исследования Ли и Янга ядерных процессов при слабых взаимодействиях показали ошибочность этого принципа. Но задолго до этого открытия элементарные наблюдения над особенностями биологической жизни наглядно показывали отличие Мира от его зеркального отражения. Достаточно обратить внимание на лица, которые в отраженной лаборатории производят опыты. Они работают левой рукой, сердце у них расположено справа, и уже по этому признаку можно отличить действительную лабораторию от лаборатории, отраженной в зеркале. Морфология животных и растений дает многочисленные примеры асимметрии, отличающей правое от левого. Например, у моллюсков раковины почти всегда закручены в правую сторону. Микробы образуют колонии определенной спиральной структуры. Подобная асимметрия, не зависящая от того, в каком полушарии Земли существует организм, наблюдается и у растений. Например, в их проводящих сосудах всегда предпочтительна левая спираль. Асимметрия организмов проявляется не только в их морфологии. В середине прошлого века Луи Пастер открыл химическую асимметрию протоплазмы и рядом замечательных исследований показал, что асимметрия является основным свойством жизни. Сложные, химически одинаковые молекулы могут быть построены по правому или левому винту. Смеси, которые встречаются в неорганической природе, содержат одинаковое количество правых и левых форм. В протоплазме же наблюдается резкое неравенство правых и левых молекул. Воздействие на организм правых и левых молекул различно. Так, например, левовращающая глюкоза почти не усваивается организмом. Упорная, передающаяся по наследству асимметрия организмов не может быть случайной. Очевидно, она является следствием законов природы, в которых асимметрия появляется из-за направленности времени. Асимметрия организмов может быть не только пассивным следствием этих законов, но и специальным устройством для усиления жизненных процессов с помощью хода времени.

Величина C_2 меняет знак при отражении в зеркале. Такие величины называются в математике псевдоскалярами в отличие от обычных величин — скаляров, какими являются масса, объем, температура и т. д. Псевдоскаляр C_2 можно считать ориентированным по оси причина—следствие. В силу условности знака C_2 при любом направлении времени этот ориентированный псевдоскаляр можно считать направленным на нас, когда мы из причины рассматриваем следствие. Но он попрежнему будет направлен к нам, если мы теперь из следствия будем смотреть на причину. Действительно, при этом переходе временное и пространственное различия причин и следствия меняют знаки, но меняются местами и правое с левым. Значит, ход времени, имея одну и ту же величину, направлен в причине и в следствии в разные стороны. В случае двух тел причины оказываются неразличимыми от следствий. Но так это и есть в действительности: например, при соударении двух шаров нельзя различить, какой из них является причиной их деформации. В природе всегда существуют только взаимодействия, и выражением этого является третий закон Ньютона. Поразительно, что этот закон оказывается простым следствием свойств причинности и хода времени. Действие и противодействие образуют одно явление, и между ними не может быть разрыва во времени. Поэтому невозможно движение системы в целом за счет внутренних сил, то есть невозможны двигатели типа пресловутой «машины Дина». Отсюда еще можно заключить об одном из фундаментальных свойств времени. Допустим, что некоторым приемом нам удалось изменить ход времени в заданной материальной системе. При этом нам, может быть, и удастся изменить напряжения в системе, а следовательно, ее энергию. Но принципиально невозможно изменить общее количество движения системы, то есть получить импульс, равносильный внешнему воздействию. Значит, время может быть носителем энергии, но не импульса. Время является материальной реальностью, не имеющей импульса. Образно выражаясь, от времени нельзя оттолкнуться, и оно не может быть крыльями космического полета.

Для получения причинно-следственных различий пары тел оказывается недостаточно. Необходимо действие на нее третьего тела. Тогда получается внешняя сила, то есть причина, действующая на одно из тел нашей пары. Под действием этой причины могут возникнуть следствия: сила действия на другое тело и одновременно противодействие на тело, с которым связана причина. Для соблюдения обычного счета времени его ход надо ориентировать по направлению внешней силы.

Представим предмет на столе. На этот предмет действует сила тяжести, то есть сила взаимного притяжения Земли и предмета. Эта сила тяжести, связанная с предметом, является причиной двух следствий, возникающих одновременно: силы давления, приложенной к столу, и реакции со стороны стола, приложенной к предмету. Допустим теперь, что наш предмет — это волчок, вращающийся в какую-то сторону, например по часовой стрелке, если смотреть со стороны стола. Тяжелый обод этого волчка оказывает давление на стол через легкую

21 Заказ № 23

ось и легкие связи его с осью. Линейную скорость поворота точек волчка можно рассматривать аналогично ходу времени C_2 как псевдоскаляр u, ориентированный по оси вращения. Так можно описать вращение, связывая себя с точками стола. Связывая же себя с точками обода волчка, мы будем наблюдать вращение конца оси на столе происходящим в ту же сторону по часовой стрелке при условии прежнего положения правого и левого. Следовательно, псевдоскаляр u для точек обода получается ориентированным в сторону, противоположную ориентации вращения с позиции точек стола. С точками стола и волчка оказываются связанными две величины — C_2 и u, аналогичные по своим свойствам. Правила математики позволяют их складывать. Сходство величин u и C_2 становится особенно полным, когда их направления совпадают. Если действительно в природе происходит такое сложение и ход времени C_2, с которым связаны обычные силы, для вращающейся системы заменяется величиной $C_2 + u$, то между столом и волчком возникнут дополнительные силы, действующие на стол и волчок, составляющие долю u/C_2 от веса волчка и направленные по его оси. Появление этих дополнительных напряжений равносильно увеличению энергии.

Образно говоря, время втекает в систему через причину к следствию. Если вращение увеличивает втекание времени, тогда система может из времени получить дополнительную энергию. Дальше вести теоретические рассуждения нельзя; необходимо опытом убедиться в правильности этих уже и без того очень далеких выводов.

Помню лет двенадцать назад морозный день, улицы города в легком зимнем тумане, покупку технических весов в магазине наглядных пособий, а в магазине игрушек — чудесного гироскопа. Гироскоп оказался действительно чудесным — небольшим и компактным. Пущенный ниткой, он давал около 300 оборотов в секунду. При весе 150 г получалась скорость обода $u = 40$ м/с. Завернутый в бумажный пакет для устранения воздушных влияний, он был подвешен с вертикальной осью к коромыслу весов. При вращении его против часовой стрелки, если смотреть сверху, весы показали уменьшение веса на 5—10 мг. При вращении же по часовой стрелке никаких изменений веса не происходило. В принципе этот опыт был поставлен неверно, и хорошо сделанный гироскоп ничего бы не показал на весах. Ведь искомые силы действуют на ротор и его оправу по третьему закону Ньютона. Они должны компенсировать друг друга в системе ротор—оправа, и поэтому показания весов должны не меняться. Только из-за сильного боя ротора в подшипниках весы показали эффект. Вызванные этим боем вибрации отделили силу, облегчающую ротор, от силы, приложенной к оправе, перенеся ее действие на стойку весов. Получилась пара сил, повернувшая коромысло весов. Пусть процесс

этот разделения сил был совершенно неясным. Но ведь наблюдался бесспорный эффект появления сил, действующих по оси гироскопа и зависящих от направления вращения, то есть тех сил, которые предсказывала идея хода времени и законов причинности. Перед глазами открывалась сказочная панорама физического воздействия времени на прибор. Появилась возможность путем механического опыта получать сведения о свойствах причинных связей и времени, подобно тому как ранее в физических лабораториях изучались свойства электрических и магнитных явлений. Многие тома философских размышлений о свойствах причинности могут быть сняты с полки. Ведь даже самое сильное воображение не может сравниться с экспериментальным исследованием реального Мира.

Даже первый простейший опыт дал возможность определить знак и величину C_2. Облегчение гироскопа означает, что дополнительные силы действуют в том же направлении, как и обычные силы между гироскопом и опорой. В этом случае C_2 и u имеют одно направление и складываются между собой. Облегчение наблюдалось при вращении гироскопа против часовой стрелки, если смотреть сверху, а значит, по часовой стрелке, если смотреть со стороны опоры. Получается, что ход времени представляет собой поворот по часовой стрелке, если смотреть из одной взаимодействующей точки на другую. Неизменность же показаний весов при вращении волчка по часовой стрелке (смотря сверху) говорит о том, что u приобретает свойства C_2 только при совпадении их направлений: то есть тогда, когда имеется сила, действующая в направлении u. Теперь можно дать математическое определение знака C_2: ход времени нашего Мира является псевдоскаляром, положительным в левой системе координат. Величина C_2 определяется отношением основных сил к дополнительным, умноженным на линейную скорость поворота гироскопа u. Получается значение порядка тысячи километров в секунду. Дальнейшие опыты позволили уточнить это значение. Можно считать $C_2 = +700$ км/с (в левой системе координат) с ошибкой ± 50 км/с. Другой, уже принципиальный результат опыта заключается в возможности разделить точки приложения дополнительных сил, то есть образовать пару. Значит, время может не только сообщать системе дополнительную энергию, но и дополнительный момент вращения.

Этим опытом был начат первый цикл лабораторных исследований. Изучалось поведение уже настоящих гироскопов авиационных приборов. При разном положении оси гироскопов изучалось отклонение весов и отклонение длинных маятников (от 3 до 11 м), телом которых служили гироскопы. Во всех случаях для получения эффектов были необходимы вибрации, осуществляемые или мотором с эксцентриком, или с помощью электромагнитного реле. Оказалось, что дополнительные силы

хода времени всегда действуют по оси гироскопа, но направление их зависит от того, с чем связан источник вибраций — с точкой опоры или с ротором. Так, например, на весах при вибрации опоры коромысла вращающийся против часовой стрелки гироскоп (смотря сверху) не становился легче, как было в первом опыте, а, наоборот, увеличивал вес. При малых вибрациях нет никаких эффектов. Они появляются, начиная с некоторого ускорения вибраций, составляющего значительную долю от ускорения тяжести, и остаются неизменными при дальнейшем увеличении колебаний. Их величина пропорциональна вращающейся массе гироскопов. В системе с вибрациями резко выражен источник (причина) и приемник их (следствие). В этих точках натяжения вибрации должны соответствовать не ходу времени C_2, а измененному из-за вращения гироскопа ходу времени $C_2 + u$. Результаты опытов надо понимать так, что не может быть частичного преобразования сил. Либо все действующие силы (давление гироскопа и натяжения вибраций) соответствуют обычному ходу времени C_2, либо, начиная с некоторого значения натяжений вибраций, они все преобразуются к новому ходу времени $C_2 + u$. Отсюда следует, что ход времени имеет определенное значение в данной точке пространства. Направление же хода времени задают обстоятельства вибраций: оно должно совпадать с направлением действия силы, вызывающей вибрацию. Таким образом, оказывается возможным узнать простым измерением, где находится причина вибраций и где ее результат. Это обстоятельство показывает, что причины реально отличаются от следствия и что произведенные опыты нельзя объяснить иначе, как действием хода времени на материальные системы.

Без вибраций взвешивание гироскопов не показывает эффекта действия сил хода времени. Так и должно быть, потому что в системе «гироскоп—опора» силы являются внутренними. Однако они могут проявить себя в дополнительных деформациях. У лабораторных волчков центробежные силы намного превышают силу тяжести. Поэтому искомые дополнительные деформации едва ли можно обнаружить на фоне деформаций от центробежных сил. Но у космических тел из-за больших радиусов центробежные силы значительно меньше сил тяжести. Поэтому дополнительные деформации быстро вращающихся планет должны заметным образом изменять их фигуру. Под действием сил хода времени одно полушарие планеты должно стать более вытянутым, чем другое. Определенный из опытов знак C_2 или просто результат первого опыта позволяет предсказать, что более вытянутым должно быть южное полушарие планеты, вращающейся в прямом направлении, то есть против часовой стрелки, если смотреть со стороны Северного полюса. В планете происходят взаимодействия масс, имеющих разные линейные скорости вращений. Например, действие экваториальных масс на медленно вращающиеся массы около оси планеты в южном полушарии происходит, как у тяжелого волчка на столе при вращении его против часовой стрелки, если смотреть сверху. В результате должны появиться дополнительные силы, раздвигающие экватор и Южный полюс. Все эти силы внутренние, поэтому центр тяжести планеты остается на месте. Они направлены по оси вращения планеты к северу в умеренных широтах, а вблизи полюсов — к югу. Следовательно, в обоих полушариях должна существовать параллель, где силы хода времени отсутствуют.

Измерения фотографических изображений Юпитера и Сатурна, имеющих среди планет наибольшую скорость вращения, показали, что в их фигурах действительно существует асимметрия по отношению к экватору и южное полушарие более вытянуто. Величина этой асимметрии находится в хорошем согласии со значением сил хода времени, найденным в лабораторных опытах с гироскопом. Относительно Земли не существует достаточно точных прямых геометрических измерений. Однако измерение силы тяжести на поверхности Земли и данные о движении искусственных спутников показывают, что сила тяжести в северном полушарии несколько больше, чем в южном. Для однородной планеты так и должно быть при вытянутом южном полушарии, ибо его точки находятся дальше от центра тяжести планеты. Однако в геодезической литературе специалисты делают обратный вывод. Суть этого расхождения заключается в том, что без учета сил хода времени увеличение тяжести в северном полушарии можно объяснить только присутствием там более плотных пород. Но тогда потенциальная энергия будет больше и поверхность ее нормального значения отодвинется дальше. Поверхность же одинаковой энергии является поверхностью спокойной воды и, значит, определяет фигуру Земли. Итак, с этой точки зрения получается вытянутость фигуры Земли в северном полушарии. Однако интерпретация эта явно искусственна и могла быть выдвинута только при отсутствии другого объяснения.

Силы хода времени на поверхности Земли можно обнаружить тем же методом вибраций, который применялся при исследовании поведения гироскопов. Эти силы вызваны взаимодействием масс Земли, вращающихся с разными линейными скоростями. Поэтому ход времени на поверхности Земли отличается от обычного значения C_2, к C_2 добавляется некоторая усредненная скорость $\bar{u}$, направленная по оси Земли и зависящая от широты. Благодаря этому причинно-следственные связи на поверхности Земли должны иметь интересные особенности. Подвешивая любой груз на длинной капроновой нити, гасящей колебания, и вибрируя точку подвеса, можно убедиться, что этот маятник отклоняется к югу на определенную величину, зависящую от широты. Так, в Ленинграде трехметровый маят-

ник, начиная с некоторой силы вибраций, отклоняется к югу на 0,06 мм. Если на рычажных весах один груз расположить на эластичном подвесе, то при вибрации стойки весов можно наблюдать утяжеление этого груза, пропорциональное его массе. Если же источником вибрации является сам груз, а стойка весов укреплена эластично, то, как и в опытах с гироскопами, эффект меняет знак: происходит облегчение этого груза на прежнюю величину. Очевидно, маятником измеряется горизонтальная составляющая сил хода времени, вызванных вращением Земли, а на весах вертикальная. Отношение этих сил показывает, что их результирующая действительно направлена по оси вращения Земли. Отсюда получается возможность находить положение земной оси, а следовательно, и широту места наблюдений. Измерения, выполненные на разных широтах, показали, что силы хода времени отсутствуют на северной параллели 73°05′.

Опыты с вибрациями помимо возможного практического значения очень интересны с принципиальной стороны. Ведь через эластичный подвес вибрации не передаются грузу. Вместе с тем на маятнике происходит изменение положения груза. Значит, изменение натяжения подвеса вызывает изменение его веса, то есть силы взаимного притяжения Земли и груза. С точки зрения обычных представлений о явлениях в неорганической природе происходит настоящее чудо: причина изменилась для того, чтобы дать заданное следствие. В этих опытах происходит обращение причинных связей, и следствием оказывается возможно влиять на причину. Значит, исследуя изменения веса груза, правильным будет ставить вопрос не «почему», а вопрос «для чего» — для того, чтобы изменилось натяжение подвеса. В области точных наук, в анализе простого механического опыта оказался законным тот наивный вопрос, которым начинается детское познание Мира. Законность этого вопроса совсем не означает целеустремленности мира. Она вытекает из возможности влиять на направленность течения времени. В описанных опытах это влияние было осуществлено вращением, но не исключена возможность, что со временем удастся найти и другие способы воздействия на время.

Представим теперь, что на тело действует не только сила тяжести, но и другие силовые поля. Спрашивается: какая же из этих причин изменится для того, чтобы дать необходимое следствие? Возможно, что при помощи опытов удастся найти только вероятность изменения той или иной причины, но это не означает индетерминизма! Напротив, даже знание только этих вероятностей позволит гораздо глубже проникнуть в свойства различных силовых полей, подобно тому как наблюдения над поведением людей, преследующих одну цель, дают не просто статистический материал, а позволяют узнать их индивидуальные особенности. Вопрос «для чего», казавшийся таким наивным, на самом деле может вести к познанию очень глубоких свойств Мира.

Второй цикл опытов по изучению причинных связей был начат в результате наблюдений над очень странными обстоятельствами, сопровождавшими опыты первого цикла. В описанных выше опытах с вибрациями интересно то значение вибраций, при котором появляются силы хода времени. Очевидно, этот вопрос относится к проблеме прочности причинных связей. Оказалось, что при строгом соблюдении одних и тех же условий опыта значения вибраций, необходимых для получения эффекта, менялись в очень широких пределах из-за каких-то сторонних обстоятельств, лежащих, по-видимому, вне лаборатории. Часто наблюдались внезапные и совершенно нерегулярные изменения. Бывали дни, когда некоторые опыты просто не удавались. Но через некоторое время в тех же условиях снова получались прежние эффекты. Очевидно, эти опыты являются своеобразным прибором, воспринимающим изменения, происходящие в свойствах времени. По-видимому, кроме хода C_2 у времени существует еще и переменное свойство. Это свойство может быть названо плотностью или интенсивностью времени. Оно напоминает интенсивность света, характеризующую свет, помимо постоянной скорости его распространения. Изменение плотности времени может происходить из-за физических процессов, происходящих в Мире. Уже одна возможность регистрации этих изменений показывает, что действие систем на другие системы может передаваться через время, без силовых полей.

По-видимому, существует много обстоятельств, изменяющих плотность времени. Несмотря на длительные наблюдения, удалось найти только одну закономерность. Поздней осенью и в первую половину зимы все опыты получаются легко. Летом же эти опыты затруднены настолько, что некоторые их варианты не выходят совсем. Вероятно, на плотность времени влияют процессы, происходящие в земной атмосфере. Все это показывает, что должен быть найден способ, которым можно будет уже по своей инициативе влиять на воспроизведение опытов. Скорее всего, для этого надо в лаборатории воспроизвести физический процесс с резко выраженным различием причины от следствия. Поскольку изучается явление такой общности, как время, очевидно, достаточно взять самый элементарный механический процесс. Можно любым двигателем периодически поднимать груз или таким же путем натягивать закрепленную тугую резину. Получается система с двумя полюсами: источником работы и приемником, то есть причинно-следственный диполь. Жесткой передачей полюсы этого диполя можно раздвинуть на достаточно большое расстояние. В качестве прибора можно взять тот длинный маятник, на котором при вибрации точки подвеса получалось отклонение к югу из-за сил

хода времени, вызванных вращением Земли. Вибрации надо настроить таким образом, чтобы возникал не полный эффект отклонения к югу, а только лишь тенденция появления этого эффекта. Оказалось, что эта тенденция заметно возрастает и даже переходит в полный эффект, если к телу маятника или к точке подвеса приближать приемник возбуждающей системы. С приближением же другого полюса (двигателя) появление на приборе эффекта неизменно затруднялось. При близком расположении двигателя и приемника должна быть компенсация их влияния, и действительно, тогда никаких дополнительных эффектов на приборе не получалось. Влияние полюса на прибор оказалось не зависящим от направления, то есть от положения места полюса относительно маятника. Эффект влияния зависит только от расстояния и меняется не обратно пропорционально его квадрату, как у силовых полей, а обратно пропорционально первой степени расстояния. Любые экраны совершенно не препятствуют влиянию.

К тем же выводам привели наблюдения и на других приборах, например на весах с эластично подвешенным грузом и с вибрациями их опоры.

Полученные результаты показывают, что вблизи системы с причинно-следственным отношением (двигатель и приемник) плотность времени действительно изменяется. Около двигателя происходит разрежение времени, а около приемника — его уплотнение. Получается впечатление, что время втягивается причиной и, наоборот, уплотняется в том месте, где расположено следствие. Поэтому на приборе, показания которого зависят от действия времени, получается помощь от приемника и помеха со стороны двигателя.

Закон изменения интенсивности времени с расстоянием, обратно пропорциональным его первой степени, можно было предвидеть исходя из того обстоятельства, что время выражается поворотом, а следовательно, с ним надо связывать плоскости, проходящие через полюс с любой ориентацией в пространстве. В случае силовых линий, выходящих из полюса, их плотность убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, плотность же плоскостей, как легко видеть, будет убывать именно по закону первой степени расстояния.

Теперь можно понять, почему действие хода времени на приборе легко проявляется зимой и плохо летом. В наших широтах зимой вблизи нас находятся следствия динамики атмосферы низких широт. Это обстоятельство помогает появлению эффектов хода времени. Летом же нагрев солнечными лучами создает атмосферный двигатель, мешающий этим эффектам. Медленное убывание воздействия времени с расстоянием приводит к большой запутанности в общей картине всевозможных воздействий. Например, влияние очень сильных процессов на Солнце может иметь такое же значение, как и процессов, происходящих на нашей Земле.

Течение времени препятствует наступлению равновесных состояний, а потому является источником жизненных процессов нашего мира. Следовательно, течение времени должно играть особенно большую роль в жизни организмов. Поэтому не только возможна, но и должна существовать биологическая связь через время. За всю историю человечества накоплено много данных, говорящих в пользу существования явлений телепатии, то есть передачи мысли на расстояние. Эти данные часто отвергаются только из-за невозможности найти им объяснение. Возникает вопрос: не есть ли найденная в механических опытах возможность с помощью времени воздействовать одной системой на другую ключ к пониманию многих загадочных явлений человеческой психики?

Время не имеет импульса, и течение времени несет только энергию. Поэтому надо думать, что воздействие времени не распространяется, а появляется всюду мгновенно, убывая обратно пропорционально расстоянию. Созданное в лаборатории изменение плотности времени должно в принципе в тот же момент восприниматься самыми удаленными галактиками, до которых свет идет миллиарды лет. Материя не экранирует время, его можно экранировать только физическим процессом. Время неразрывно связано со всеми процессами, и материальная сущность времени устанавливает взаимосвязь Вселенной. Образно говоря, время является грандиозным потоком, охватывающим все материальные системы Вселенной, и все процессы, происходящие в этих системах, вносят свою долю в этот общий поток.

Активное участие времени в процессах природы создает даже в простейших механических опытах новые интересные явления. В общей же картине разнообразных физических процессов должен заключаться целый мир новых явлений, мир, неизведанный и совершенно затерянный на путях развития наших наук. Изучая свойства времени, мы сможем проникнуть в глубины природы и узнать, говоря словами Фауста, «вселенной внутреннюю связь» — «was die Welt im Innersten zusammenhält».

ПУТЬ В КОСМОС

Константин Эдуардович Циолковский писал: «Земля — это колыбель человечества, но нельзя же вечно жить в колыбели». Школьный учитель в провинциальной Калуге не просто мечтал о космических полетах будущего. Конкретным расчетом принципов реактивного движения и энергетических ресурсов химии он доказал техническую возможность таких полетов. И вот теперь настало время, когда человек сделал первые шаги за пределами нашей планеты...

1959 год был годом особенно крупных успехов космонавтики. Три советские автоматические станции впервые вышли на межпланетные орбиты. 7 октября станция «Луна-3», огибая Луну, сфотографировала ее сторону, которую никогда нельзя увидеть с Земли. Эти фотографии удовлетворяли не только научную любознательность, но и простое человеческое любопытство. Ведь каждому интересно было узнать, как выглядит Луна, если посмотреть на нее сзади! Оказалось, что там нет темных пятен — морей, которые можно различить даже невооруженным глазом и которые образуют так хорошо знакомый нам лик Луны. Видно только одно небольшое пятно, скорее даже не море, а большой цирк. Его назвали «морем Москвы». А в остальном там гористая поверхность, испещренная огромным количеством кратеров. Среди них выделяется большой кратер с совершенно гладким и очень темным дном. Из него, как скалистый остров, круто поднимается светлая центральная горка. Этот кратер сразу же, по первым фотографиям, был назван именем Циолковского. Следующие фотографии большой четкости, полученные американскими искусственными спутниками Луны типа «Орбитер», показали, что это едва ли не самый интересный кратер Луны. На его наружных склонах видны потоки застывшей лавы. Быстро остывая за пределами кратера, эти потоки образовали характерный передник. Бесспорно, кратер «Циолковский» был еще недавно действовавшим вулканом, кальдера которого очень похожа на кальдеру большого вулкана острова Ява. Как хорошо получилось, что такой замечательный кратер увековечивает память Циолковского!

Много и других примеров вулканической деятельности можно найти на фотографиях обратной стороны Луны. Вулканическая активность — это не только прошлое, но и настоящее Луны. Фотография спектра светящихся газов, выходивших из центрального пика кратера Альфонс, полученная на пятидесятидюймовом рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории, показала вулканический процесс, происходивший на Луне

Козырев Н. А. Путь в космос//Нева. 1969. № 12. С. 167—169.

3 ноября 1958 года. Эта спектрограмма опровергла сложившийся в науке догмат мертвой Луны. Она подтвердила, что космическая жизнь Луны не закончена, а продолжается и в настоящее время. Луна, как и Земля, имеет свою собственную внутреннюю энергию. Поэтому не только по размерам, но и по физическим признакам она является равноправной планетой, оказавшейся связанной с Землей. Полет на Луну становится очень важным шагом в исследовании Космоса.

21 июля 1969 года произошло событие огромного значения в истории человечества. Космонавты американского космического корабля «Аполлон-11» Армстронг и Олдрин ступили на поверхность Луны, установили там научные приборы, взяли пробы грунта и благополучно вернулись на Землю. Этим открылась новая страница научных исследований. Начинается непосредственное изучение другой планеты, а через сравнение с нею и более глубокое познание свойств нашей Земли. На этом пути предстоит очень большая работа: понадобится еще много полетов к Луне и устройство там постоянно работающих лабораторий. Постепенное накопление технических средств на Луне позволит осуществлять с ее поверхности старт космических кораблей. Из-за малой тяжести на поверхности Луны они смогут гораздо легче, чем с Земли, уходить к другим далеким планетам. Все эти перспективы совершенно реальны, а человек никогда не откажется от того, чтобы идти все дальше, если к тому существует возможность. Ни трудности, ни великие опасности не смогут остановить его на этом пути. Совершенно бесполезны и соображения о том, что человек нравственно еще не подготовлен для этой задачи.

Знаменитый математик и фолософ Бертран Рассел считает, что прежде чем отправиться в Космос, человек должен научиться разумно жить на Земле, чтобы не распространить на Вселенную сферу своей глупости, суеты и неуважения друг к другу. Все перечисленное действительно есть на Земле, но, оставаясь здесь, люди едва ли станут лучше. Из истории расселения людей по земному шару видно, что борьба людей между собой может быть выиграна коварством, жестокостью, обманом и другими низменными свойствами человека. Рассел прав, считая, что созерцание Природы облагораживает человека. Но когда человек входит в Природу, не только мыслью, а буквально всем своим существом, тогда воздействие Природы на него становится неизмеримо большим. Выход в Космос неизбежно столкнет человека со стихийными силами Природы. В борьбе с ними победить сможет только тот, кто обладает качествами широкой натуры, мужеством и правдивостью. [Уже в суровых условиях Арктики человек испытывает высокое и радостное чувство от окружающего его первозданного мира. Там убрана суетность мелких забот, в луже которых так легко утонуть, и там, как говорит Джек Лондон в рассказе

«Белое Безмолвие», наступает момент, когда человек остается наедине с Богом... С еще большей силой должен чувствовать все это тот, кто уходит в космос. А у тех, кто остается на земле, навсегда сохранится след от общих для всех, пережитых за него и тревожных, и радостных минут.] * Когда американские космонавты сделали первые шаги на Луне, все ощущали радость огромной победы, объединяющей человечество. Ведь науку, которая позволила так точно рассчитать полет, и технику, которая смогла все это осуществить, шаг за шагом создавали люди разных национальностей на протяжении многих поколений.

Все осуществление программы «Аполлон», завершенное выходом космонавтов на поверхность Луны, стоило огромной суммы — 24 млрд. долл. Полет к другим далеким планетам Солнечной системы потребует еще больших затрат. У многих возникает вопрос: смогут ли научные и практические результаты космических исследований оправдать такие непомерные затраты и усилия? Подобные же сомнения были много лет назад и после первого путешествия Колумба, открывшего Новый Свет. Когда следующие экспедиции такого рода не принесли ожидаемых богатств, при дворе правителей Испании стали раздаваться голоса против столь дорогостоящих экспедиций.

Уже такие обстоятельства, как отсутствие атмосферы и малая сила тяжести на поверхности Луны, позволяют построить там астрономическую обсерваторию, которая будет работать в идеальных для наблюдений условиях, поставить по-новому ряд технологических процессов и, как полагает Айзек Азимов, провести важные биологические исследования, которые помогут бороться с болезнями.

Но едва ли стоит подробно обсуждать эти и другие возможности. Когда открываются новые и широкие пути исследований Природы, тогда самым главным результатом бывает не тот, который можно предвидеть, а то неожиданное, что обязательно встретится на новых путях. Это неожиданное и будет тем подлинным сокровищем Космоса, которое обогатит человечество и даст ему новые силы и новые возможности. Эти сокровища ждут исследователей. Они должны быть уже где-то и там, куда может достигнуть современный космический полет.

При полете к Луне взлетевшее с Земли сооружение имело высоту Исаакиевского собора в Ленинграде. На Землю же вернулась небольшая кабина, с трудом вмещавшая трех космонавтов. Столь малый коэффициент полезной нагрузки является очень большим и принципиальным недостатком ракетного, реактивного движения в применении к космическим полетам. Этот малый коэффициент противоречит эстетическому чувству, требующему получения большого результата малым усилием.

* Текст в квадратных скобках соответствует авторскому оригиналу, измененному при публикации статьи.

Чувство красоты — это интуитивное ощущение правильного — вызывает желание найти совершенно другой принцип преодоления сил тяготения плавным и легким полетом. Вместе с тем из основных законов теоретической механики, сформулированных Ньютоном, следует, что преодоление сил тяготения в пустом пространстве возможно только реактивным способом, то есть силой отдачи выбрасываемой массы. Сам Ньютон совершенно отчетливо понимал, что это единственный способ, который открывают найденные им свойства тяготения и третий закон механики равенства действия и противодействия. В «Системе Мира», изданной через год после его смерти, содержится даже теория запуска искусственного спутника Земли, основанная на принципе отдачи — принципе реактивного движения.

Может быть, высокоразвитая жизнь есть не только на Земле, но и на других космических телах. Может быть, там есть и высокоразвитые цивилизации, с которыми удастся установить радиосвязь. Это будет уже проникновением в Космос, правда, косвенным, но зато легким и, возможно, очень эффективным путем. Однако полеты автоматических станций к Венере и Марсу принесли сведения, почти исключающие возможность существования достаточно развитой жизни в пределах Солнечной системы. Попытки же установить связь с обитателями других звездных миров едва ли имеют смысл из-за ограничений, которые опять ставит теоретическая физика: скорость передачи сигнала не может превышать скорости света. Но что же это за связь, когда для получения ответа потребуются десятки лет, да и то лишь в самом лучшем случае!

Основные законы теоретической механики и физики бесспорны, и мы не можем в них сомневаться. Движение космических кораблей было рассчитано и осуществлено по этим законам. Полеты к Луне аппаратов системы «Аполлон» совершались по расписанию и с точностью, которой может позавидовать любой земной транспорт. Однако, несмотря на истинность и глубину открытых законов, нельзя утверждать, что они исчерпывают все многообразие возможностей, существующих в Мире. Дело в том, что научный метод познания Мира в какой-то мере всегда схематичен. Поэтому могут существовать явления, необъяснимые с точки зрения принятой схемы.

Главный недостаток схемы теоретической механики и физики заключается в чрезвычайно упрощенном представлении о времени. Для точных наук время имеет только геометрическое свойство. Оно дополняет пространственную арену, на которой разыгрываются события Мира. Вместе с тем у времени могут существовать и физические свойства — такие, например, как направленность его течения и плотность. Если эти свойства

реальны, то они должны проявляться в воздействиях времени на ход событий в материальных системах. Время не только пассивно отмечает моменты событий, но и активно участвует в их развитии. Значит, возможно воздействие одного процесса на ход другого через время, с помощью его физических свойств. Эти возможности очень интересно дополняют хорошо знакомую картину воздействия одного тела на другое через пространство с помощью силовых полей. Но время не движется в пространстве, а появляется сразу во всей Вселенной. Поэтому время свободно от ограничения скорости сигнала, и через время можно будет осуществить мгновенную связь с самыми далекими объектами Космоса.

Тяготение — очень таинственное и до сих пор не разгаданное свойство материи. Концепция теоретической физики связывает тяготение с геометрическими свойствами пространства и времени. Вероятно, связь тяготения с временем очень глубокая, и изменение физических свойств времени может привести к изменению сил тяготения между телами. Значит, и мечту о плавном космическом полете, освобожденном от сил тяготения, не следует считать совершенно абсурдной!

Сейчас в самых различных областях науки накапливается много наблюдений и фактов, выходящих за рамки обычных сложившихся представлений. Физические свойства времени могут оказаться ключом к пониманию многих из этих явлений. Все больше ученых начинает задумываться над такого рода вопросами. Это не передний край современной науки, где работает много людей и где много технических средств. Но это будет наукой новых и удивительных возможностей, наукой двадцать первого века. Она подготавливается размышлениями ученых в тихих кабинетах и опытами скромных лабораторий.

Наука должна освободиться от тяжести технической перегрузки и найти новые простые возможности в созерцании неисчерпаемых глубин Природы. Тогда откроется широкий и свободный выход человека в Космос, а летающие сейчас космические корабли будут вспоминаться как неуклюжие каравеллы Колумба в сравнении с полетом реактивного лайнера. Но как сейчас мы помним и восхищаемся мужеством мореплавателей времен великих географических открытий, так и тогда вечно будет жить память о тех, кто дерзнул подготовить и совершить первые полеты в Космос.

О ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВРЕМЕНИ

Часть I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ

Время является важнейшим и самым загадочным свойством Природы. Представление о времени подавляет наше воображение. Недаром умозрительные попытки философов античности, схоластов средневековья и современных ученых, владеющих знанием наук и опытом их истории, понять сущность времени оказались безрезультатными. Вероятно, это происходит потому, что время сближает нас с глубочайшими и совершенно неизвестными свойствами Мира, которые едва ли может предвидеть самый смелый полет человеческой мысли. Мимо этих свойств Мира проходит триумфальное шествие современной науки и технического прогресса. Действительно, точные науки отрицают существование у времени каких-либо других свойств, кроме простейшего свойства «длительности» промежутков времени, измерение которых осуществляется часами. Это свойство времени подобно пространственному интервалу. Теория относительности Эйнштейна углубила эту аналогию, считая промежутки времени и пространства компонентами четырехмерного интервала Мира Минковского. Только псевдоэвклидовый характер геометрии Мира Минковского отличает промежутки времени от промежутков пространства. В такой концепции время скалярно и совершенно пассивно. Оно лишь дополняет пространственную арену, на которой разыгрываются события Мира. Благодаря скалярности времени в уравнениях теоретической механики будущее не отличается от прошедшего, а следовательно, не отличаются и причины от следствий. В результате классическая механика приходит к Миру, строго детерминированному, но лишенному причинности. Вместе с тем причинность является важнейшим свойством реального Мира.

Представление о причинности является основой естествознания. Естествоиспытатель убежден, что вопрос «почему?» — законный, что на него может быть найден ответ. Содержание

Kozyrev N. A. On the possibility of experimental investigation of the properties of time//Time in Science and Philosophy. Prague, 1971. P. 111—132. Печатается по русскому авторскому тексту из архива В. В. Насонова.

же точных наук значительно более бедное. В точных науках законным является только вопрос «как?» — каким образом происходит данная цепь явлений. Поэтому точные науки являются науками описательными. Описание делается в четырехмерном мире, что означает возможность предсказания явлений. В этой возможности предсказания и заключается могущество точных наук. Обаяние этого могущества так велико, что часто заставляет забывать принципиальную неполноценность их базиса. Вероятно, поэтому философская концепция Маха, выведенная строго логически из основ точных наук, привлекла к себе большое внимание, несмотря на ее несоответствие нашим знаниям о Мире и повседневному опыту.

Возникает естественное желание ввести в точные науки принципы естествознания. Иными словами, сделать попытку ввести в теоретическую механику принцип причинности и направления времени. Такая механика может быть названа «причинной» или «несимметричной» механикой. В такой механике должен быть осуществим опыт, показывающий, где находится причина и где следствие. Может показаться, что в статистической механике есть направленность времени и что она удовлетворяет нашим желаниям. Действительно, статистическая механика перебрасывает некоторый мост между естествознанием и теоретической механикой. В статистическом ансамбле несимметричность во времени может возникнуть из-за маловероятных начальных условий, вызванных вмешательством сторонней системы, действие которой является причиной. Если в дальнейшем система будет изолированной, то в соответствии со вторым началом термодинамики ее энтропия будет возрастать и направленность времени может быть связана с этим направлением изменения энтропии. В результате система придет к наиболее вероятному состоянию, она окажется в равновесии, но тогда флюктуации энтропии разных знаков будут встречаться одинаково часто.

Поэтому и в статистической механике изолированной системы при наивероятнейшем состоянии не будет направленности времени. Совершенно естественно, что в статистической механике, основанной на обычной механике точки, направленность времени не появляется как свойство самого времени, а возникает лишь как свойство состояния системы. Если направленность времени и другие его возможные свойства являются объективными, они должны входить в систему элементарной механики единичных процессов. Статистическое же обобщение такой механики может привести к выводу о недостижимости равновесных состояний. В самом деле, направленность времени означает непрестанно существующий у времени ход, который, воздействуя на материальную систему, может помешать ей перейти в равновесное состояние. При таком рассмотрении события должны происходить не только во времени, как

на некоторой арене, но и с помощью времени. Время становится активным участником Мироздания, устраняющим возможность тепловой смерти. Тогда можно будет понять гармонию жизни и смерти, которую мы ощущаем как сущность нашего Мира. Уже из-за одних этих перспектив следует внимательно обдумать вопрос о том, каким образом в механику элементарных процессов можно ввести понятие о направленности времени или о его ходе.

Будем представлять себе механику в простейшем виде как классическую механику точки или системы материальных точек. Желая перенести в механику принцип причинности естествознания, мы сразу сталкиваемся с той трудностью, что идея причинности совершенно не сформулирована в естествознании. В постоянных поисках причины натуралист руководствуется скорее своей интуицией, чем определенными рецептами. Можно утверждать только, что причинность самым тесным образом связана со свойствами времени, в частности с различием будущего и прошедшего. Поэтому будем руководствоваться следующими постулатами:

I. Время обладает особым свойством, создающим различие причин от следствий, которое может быть названо направленностью или ходом. Этим свойством определяется отличие прошедшего от будущего.

На необходимость этого постулата указывают трудности, связанные с развитием идеи Лейбница об определении направленности времени через причинные связи. Глубокие исследования H. Reichenbach [1] и G. Whitrow [2] показывают, что нельзя строго, без тавтологии провести эту идею. Причинность говорит нам о существовании направленности у времени и о некоторых свойствах этой направленности, вместе с тем она не является сущностью этого явления, а только его результатом.

Постараемся теперь, пользуясь простейшим свойством причинности, дать количественное выражение постулату I. Исходя из тех обстоятельств, что: 1) причина всегда находится вне того тела, в котором осуществляется следствие, и 2) следствие наступает после причины, можно сформулировать еще две следующие аксиомы:

II. Причины и следствия всегда разделяются пространством. Поэтому между ними существует сколь угодно малое, но не равное нулю, пространственное различие δx.

III. Причины и следствия различаются временем. Поэтому между их проявлением существует сколь угодно малое, но не равное нулю, временное различие δt определенного знака.

Аксиома II является основой классической механики Ньютона. Она содержится в третьем законе, согласно которому под действием внутренних сил не может произойти изменение количества движения. Иными словами, в теле не может возникнуть

22 Заказ № 23

внешняя сила без участия другого тела. Отсюда в силу непроницаемости материи $\delta x \neq 0$. В силу же полной обратимости времени аксиома III отсутствует в механике Ньютона: $\delta t = 0$.

В атомной механике имеет место как раз обратное. Принцип непроницаемости материи в ней утратил свое значение, и в силу возможности суперпозиции полей принимается, очевидно, $\delta x = 0$. Но в атомной механике есть необратимость во времени, которой не было в механике Ньютона. Воздействие на систему макроскопического тела — прибора вводит различие между будущим и прошедшим, ибо будущее оказывается предсказуемым, а прошлое нет. Поэтому во временной окрестности эксперимента $\delta t \neq 0$, хотя и может быть сколь угодно малым. Таким образом, классическая механика и атомная механика входят в нашу аксиоматику как две крайние схемы. Это обстоятельство становится особенно наглядным, если ввести отношение

$$\frac{\delta x}{\delta t} = C_2. \qquad (1)$$

В реальном Мире C_2 является скорее всего конечной величиной. В классической же механике $\delta x \neq 0$, $\delta t = 0$ и, следовательно, $C_2 = \infty$. В атомной механике $\delta x = 0$, $\delta t \neq 0$, и поэтому $C_2 = 0$.

Остановимся теперь на смысле введенных нами символов δx и δt. В длинной цепи причинно-следственных превращений мы рассматриваем только то элементарное звено, где причина порождает следствие. Согласно обычным физическим воззрениям это звено является пространственно-временной точкой, не подлежащей дальнейшему анализу. В силу же наших аксиом причинности это элементарное причинно-следственное звено должно иметь структуру, обусловленную невозможностью пространственно-временного наложения причин и следствий. Условие неналожения при предельном сближении мы и определяем символами δx и δt. Следовательно, эти символы означают предел бесконечно малых величин при условии, что они никогда не обращаются в нуль. Эти символы определяют точечные расстояния или размеры «пустой» точки, находящейся между материальными точками, с которыми связаны причины и следствия. При вычислении же интервалов всей причинно-следственной цепи их с любой степенью точности следует считать равными нулю. Если же они являются бесконечно малыми одного порядка, то их отношение C_2 может быть конечной величиной и выражать количественно физическое свойство причинно-следственной связи. Этим физическим свойством является **ход времени,** качественно формулированный постулатом I.

Действительно, по определению (1) величина C_2 имеет размерность скорости и дает величину скорости перехода причины в следствие. Этот переход осуществляется через «пустую» точку, где нет материальных тел и есть только пространство и время.

Следовательно, величина C_2 может быть связана только со свойствами времени и пространства, а не со свойствами тел. Поэтому C_2 должна быть универсальной постоянной и может характеризовать ход времени нашего Мира. Превращение причины в следствие требует преодоления «пустой» точки пространства. Эта точка является бездной, переход через которую может осуществляться только с помощью хода времени. Отсюда прямо следует активное участие времени в процессах материальных систем.

В формуле (1) знак δt имеет определенный смысл. Его можно фиксировать обычным условием: будущее минус прошедшее является положительной величиной. Знак же величины δx совершенно произволен, поскольку пространство изотропно и в нем нет преимущественного направления. Вместе с тем знак C_2 должен быть определенным, ибо логически мы должны иметь возможность вообразить Мир с противоположным ходом времени, т. е. другого знака. Возникает трудность, которая на первый взгляд кажется непреодолимой и разрушающей все сделанное до сих пор построение. Однако именно благодаря этой трудности становится возможным однозначное заключение: C_2 является не скалярной величиной, а псевдоскаляром, т. е. скаляром, меняющим знак при зеркальном отображении или инверсии координатной системы. Действительно, в этом случае из формулы (1) следует, что δt является предельным значением псевдоскаляра, колинеарного с предельным вектором δx. Псевдоскалярный характер δt означает, что в плоскости (YZ), перпендикулярной к оси X, происходит некоторый поворот, знак которого можно определить знаком δt. Значит, с помощью δt можно ориентировать плоскость, перпендикулярную к оси X, т. е. задать расположение осей Y и Z. Изменим теперь в формуле (1) знак δx, сохраняя знак δt и, значит, сохраняя ориентацию плоскости (Y, Z). Тогда постоянная C_2 изменит знак, что и должно быть, поскольку наша операция равносильна зеркальному отображению. Если же изменить знак не только у δx, но и у δt, то постоянная C_2 по формуле (1) не изменит знака. Так и должно быть, ибо в данном случае мы произвели только поворот координатной системы. Наконец, меняя знак только у δt, мы опять получаем зеркальное отображение координатной системы, при котором должен меняться знак псевдоскаляра. Это доказательство можно пояснить следующим простым рассуждением. Ход времени должен быть определен к некоторому инварианту. Таким инвариантом, независящим от свойств тел, может быть только пространство. Абсолютное значение хода времени получается тогда, когда абсолютное различие будущего и прошедшего будет связано

с абсолютным же различием в свойствах пространства. В пространстве нет различий в направлениях, но есть абсолютное различие между правым и левым, хотя сами эти понятия совершенно условны. Поэтому ход времени должен определяться величиной, имеющей смысл линейной скорости поворота. Отсюда следует, что C_2 не может равняться скорости света C_1, являющейся обычным скаляром.

Из псевдоскалярного свойства хода времени сразу вытекает основная теорема причинной механики:

Мир с противоположным ходом времени равносилен нашему Миру, отраженному в зеркале.

В зеркально отраженном Мире полностью сохраняется причинность. Поэтому в Мире с противоположным ходом времени события должны развиваться столь же закономерно, как и в нашем Мире. Ошибочно думать, что, пустив кинофильм нашего Мира в обратную сторону, мы получим картину Мира противоположной направленности времени. Нельзя формально менять знак у промежутков времени. Это приводит к нарушению причинности, т. е. к нелепости, к Миру, который не может существовать. При изменении направленности времени должны изменяться и влияния, которые ход времени оказывает на материальные системы. Поэтому Мир, отраженный в зеркале, по своим физическим свойствам должен отличаться от нашего Мира. Классическая же механика утверждает тождественность этих Миров. До недавнего времени эту тождественность полагала и атомная механика, называя ее законом сохранения четности. Однако исследования Ли и Янга ядерных процессов при слабых взаимодействиях привели к экспериментам, показавшим ошибочность этого закона. Этот результат совершенно естествен при реальном существовании направленности времени, которое подтверждается описанными дальше прямыми опытами. Вместе с тем обратное заключение сделать нельзя. Многочисленные исследования наблюдавшихся явлений несохранения четности показали возможность иных интерпретаций.

Надо думать, что дальнейшие эксперименты в области ядерной физики настолько сузят круг возможных интерпретаций, что существование направленности времени в элементарных процессах станет совершенно очевидным.

Отличие Мира от зеркального отображения особенно наглядно показывает биология. Морфология животных и растений дает многочисленные примеры асимметрии, отличающей правое от левого и независящей от того, в каком полушарии Земли существует организм. Асимметрия организмов проявляется не только в их морфологии. Открытая Луи Пастером химическая асимметрия протоплазмы показывает, что асимметрия является основным свойством жизни. Упорная, передающаяся по наследству асимметрия организмов не может быть случайной. Эта асимметрия может быть не только пассивным следствием законов Природы, отражающих направленность времени. Скорее всего, при определенной асимметрии, соответствующей данному ходу времени, организм приобретает дополнительную жизнеспособность, т. е. может его использовать для усиления жизненных процессов.

Тогда на основании нашей основной теоремы можно заключить, что в Мире с противоположным ходом времени сердце у позвоночных было бы расположено справа, раковины молюсков были бы в основном закручены влево, а в протоплазме наблюдалось бы противоположное количественное неравенство правых и левых молекул. Возможно, что специально поставленные биологические опыты смогут прямо доказать, что жизнь действительно использует ход времени в качестве дополнительного источника энергии.

Отметим теперь еще одно важное обстоятельство, связанное с определением хода времени формулой (1). Каждая причинно-следственная связь имеет некоторое пространственное направление, орт которого обозначим через i. Поэтому в конкретной причинной связи ходом времени будет ориентированный псевдоскаляр iC_2. Докажем, что в точке причина и в точке следствие эти величины должны быть противоположного направления. Действительно, следствие находится в будущем по отношению к причине, а причина в прошлом по отношению к следствию. Значит, в точках причина и следствие δt должны иметь противоположные знаки, а значит, должна быть и противоположная ориентация плоскости, перпендикулярной к i. Тогда при фиксированном i меняется тип координатной системы и выражение iC_2 изменяет знак. Если же при переходе от причины к следствию менять знак i, то знак C_2 останется неизменным, а следовательно, iC_2 изменит знак и в этом случае. Значит, ход времени характеризуется величинами $\pm iC_2$ и является фактическим процессом, моделью которого может быть относительное вращение некоторого идеального волчка. Под идеальным волчком можно понимать тело, вся масса которого расположена на некотором одном расстоянии от оси. На другое тело этот волчок может действовать через материальную ось вращения и материальные связи с этой осью, массами которых можно пренебрегать. Поэтому механическое свойство идеального волчка будет равносильно свойствам материальной точки, имеющей массу волчка и его вращение. Допустим, что точка, с которой взаимодействует волчок, находится по направлению его оси. Обозначим через j орт этого направления и будем считать его обычным вектором. Можно условиться независимо от типа координатной системы откладывать его в другой точке, например в ту сторону, откуда вращение волчка кажется из этой точки происходящим по часовой стрелке. Наблюдаемое вращение волчка можно описать ориентированным псевдоска-

ляром ju, где u — линейная скорость вращения. При таком описании и выбранном нами направлении величина u должна быть псевдоскаляром, положительным в левой системе координат. С позиции точек обода волчка линейная скорость точки, на которую действует ось волчка, будет равна $-u$. Вращение же ее будет происходить в прежнюю сторону, и, следовательно, j сохранит свой знак. Таким образом, с волчком мы должны сопоставить ориентированный псевдоскаляр $-ju$. Значит, ход времени, определяемый величинами $\pm iC_2$, действительно имеет сходство с относительным движением, которое определяется величинами $\pm ju$ того же рода. Разумеется, эта формальная аналогия совершенно не объясняет сущность хода времени. Но она открывает замечательную перспективу возможности экспериментального исследования свойств времени. Действительно, если в причинную связь будет входить вращающееся тело, то можно ожидать сложения величин $\pm iC_2$ и $\pm ju$, поскольку эта операция математически совершенно допустима.

Иными словами, можно ожидать, что в системе с вращением ход времени изменяется и вместо $\pm iC_2$ становится равным $\pm(iC_2+ju)$. Постараемся теперь выяснить, какие изменения от этого могут произойти в механической системе. Для этого необходимо уточнить понятие причина и следствие в механике.

Силы являются причинами, изменяющими взаимное расположение тел и их количества движения. Изменение расположения тел может привести к появлению новых сил, а согласно принципу Даламбера изменение количества движения в единицу времени, взятое с обратным знаком, можно рассматривать как силу инерции. Поэтому в механике силы являются причинами и всеми возможными следствиями. Однако при движении тела (1) под действием силы F сила инерции $-dp_1/dt$ не является следствием. Обе эти силы возникают в одной точке. Согласно аксиоме II следует, что из-за этого не может быть причинно-следственного отношения и они являются тождественными понятиями. Поэтому, как это делал в своей механике Кирхгоф, сила инерции может служить определением силы F. Сила F, приложенная к точке (1), может вызвать следствие только в другой точке (2). Эту силу следствия назовем как действие Φ_0 первой точки на вторую:

$$\Phi_0 = F - \frac{dp_1}{dt} = \frac{dp_2}{dt}. \qquad (2)$$

Для первой же точки она является потерянной силой Даламбера:

$$\frac{dp_1}{dt} = F - \frac{dp_2}{dt}.$$

В соответствии с этими выражениями можно считать, что за время dt точка (1) теряет импульс dp_2, который передается точке (2). В случае, когда между точками (1) и (2) есть причинная связь, $\delta t \neq 0$, и между ними будет существовать соответствующее различие $\delta p_2 \neq 0$. Когда причина находится в точке (1), переход dp_2 от точки (1) к точке (2) соответствует возрастанию времени. Поэтому

$$\frac{\delta p_2}{\delta t} = \frac{dp_2}{dt} = \Phi_0. \qquad (3)$$

Обозначим i орт действия Φ_0. Тогда согласно формуле (3)

$$\Phi_0 = i\,|\Phi_0| = i\,\frac{|\delta p_2|}{\delta t} = i\left|\frac{\delta p_2}{\delta x}\right|\frac{|\delta x|}{\delta t}.$$

По формуле (1) величину $|\delta x|/\delta t$ можно заменить на C_2, если условиться пользоваться той системой координат, в которой C_2 положительно. При этом условии

$$\Phi_0 = iC_2\left|\frac{\delta p_2}{\delta x}\right|. \qquad (4)$$

Множитель при iC_2 является величиной, независящей от хода времени, т. е. силовым инвариантом. Действительно, при любом ходе времени не только пространственные промежутки, но и промежутки времени должны измеряться неизменными масштабами. Поэтому скорости, а следовательно, и их импульсы не должны зависеть от хода времени. Как это доказано выше, при существовании хода времени iC_2 в точке (2) обязательно должен быть в точке (1) ход времени $-iC_2$. Значит, при действии на точку (2) обязательно должно быть и противодействие, или сила реакции R_0, в точке (1):

$$R_0 = -iC_2\left|\frac{\delta p_2}{\delta x}\right|. \qquad (5)$$

Таким образом, третий закон Ньютона оказывается прямым следствием свойств причинности и хода времени. Действие и противодействие являются сторонами одного и того же явления, и между ними не может быть разрыва во времени. Таким образом, закон сохранения импульса является одним из самых фундаментальных законов Природы.

Допустим теперь, что ход времени изменился и вместо $\pm iC_2$ стал равным $\pm(iC_2+ju)$. Тогда по формулам (4) и (5) должно произойти следующее преобразование сил:

$$\Phi = (iC_2 + ju)\left|\frac{\delta p_2}{\delta x}\right|; \quad R = -(iC_2 + ju)\left|\frac{\delta p_2}{\delta x}\right|.$$

Получаются дополнительные силы:

$$\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0 = +j \frac{u}{C_2} |\Phi_0|, \qquad (6)$$

$$\Delta R = R - R_0 = -j \frac{u}{C_2} |\Phi_0|.$$

Итак, в причинной связи с вращающимся волчком можно ожидать появления дополнительных сил (6), действующих вдоль оси вращения волчка. Соответствующие опыты, описанные подробно в следующей части, показывают, что действительно при вращении возникают силы, действующие по оси и зависящие от направления вращения. Измеренные величины дополнительных сил позволяют по формуле (6) определить значение хода времени C_2 не только по величине, но и по знаку, т. е. указать тип координатной системы, в которой C_2 положительно. Оказалось, что ход времени нашего Мира положителен в левой системе координат, отсюда получается возможность объективного определения правого и левого: левой системой координат называется та система, в которой ход времени положителен, а правой — в которой он отрицателен. Таким образом, ход времени, связывающий все тела в Мире, даже при полной их изоляции, играет роль того материального моста, о необходимости которого для согласования понятий правого и левого говорил еще Гаусс [3].

Появление дополнительных сил можно постараться наглядно представить себе следующим образом. Время втекает в систему через причину к следствию. Вращение изменяет возможность этого втекания, и в результате ход времени может создать дополнительные напряжения в системе. Дополнительные напряжения изменяют потенциальную и полную энергию системы. Эти изменения производит ход времени. Отсюда следует, что время имеет энергию. Поскольку дополнительные силы равны и направлены противоположно, импульс системы не меняется. Значит, время не имеет импульса, хотя и обладает энергией.

В механике Ньютона $C_2 = \infty$. Дополнительные силы по формуле (6) исчезают, как и должно быть в этой механике. Это естественно, ибо бесконечный ход времени нельзя ничем изменить. Поэтому время кажется Роком, наделенным несокрушимым могуществом. Реальное же время имеет конечный ход, на него можно влиять, и, значит, в принципе время может быть обратимым. Как на самом деле осуществлять эти явления, должны когда-нибудь показать опыты, изучающие свойства времени.

В атомной механике $C_2 = 0$. Формулы (6), полученные некоторым уточнением принципов механики Ньютона, являются приближенными и не дают предельного перехода при $C_2 = 0$. Они указывают только, что в этом случае дополнительные эффекты, не предусмотренные механикой Ньютона, будут играть главенствующую роль. Причинность становится совершенно запутанной, и явления природы остается объяснить статистически.

Механика Ньютона отвечает Миру с бесконечно прочными причинными связями, а атомная механика представляет другой предельный случай Мира с бесконечно слабыми причинными связями. Формулы (6) показывают, что механику, отвечающую принципам причинности естествознания, следует развивать со стороны механики Ньютона, а не со стороны атомной механики. При этом могут появиться черты, характерные для атомной механики. Например, можно ожидать появления в макроскопической механике квантовых эффектов.

Изложенные здесь теоретические соображения нужны в основном только для того, чтобы знать, как поставить опыты по изучению свойств времени. Время представляет собой целый мир загадочных явлений, и их нельзя проследить логическими рассуждениями. Свойства времени должны постоянно выясняться физическими опытами.

Для постановки экспериментов важно заранее знать величину ожидаемых эффектов, которые зависят от величины C_2. Числовое значение C_2 можно попытаться оценить, исходя из соображений размерности.

Единственная универсальная постоянная, которая может иметь смысл псевдоскаляра, это постоянная Планка h. Действительно, эта постоянная имеет размерность момента количества движения и определяет спин элементарных частиц. Теперь, пользуясь постоянной Планка и любой скалярной универсальной постоянной, надо получить величину, имеющую размерность скорости. Легко убедиться, что выражение

$$C_2 = \alpha e^2/h = \alpha \cdot 350 \text{ км/с} \qquad (7)$$

является единственной комбинацией этого рода. Здесь e — заряд элементарной частицы и α — некоторый безразмерный множитель. Тогда по формуле (6) при $u = 100$ км/с дополнительные силы будут порядка 10^{-4} или 10^{-5} (при значительном α) от приложенных сил. При таком C_2 силы хода времени легко обнаружить в простейших опытах, не требующих высокой степени точности измерений.

Часть II

ОПЫТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ СВОЙСТВ ВРЕМЕНИ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Элементарная проверка развитых выше теоретических соображений была начата нами еще зимой 1951—1952 г. С тех пор эти опыты непрерывно продолжались при активном участии

в течение ряда лет доцента В. Г. Лабейша. В настоящее время они уже давно проводятся нами в лаборатории Пулковской обсерватории вместе с инженером В. В. Насоновым. Работа В. В. Насонова придала опытам высокую степень надежности. За время этих исследований был накоплен многочисленный и разнообразный материал, позволяющий сделать ряд выводов о свойствах времени. Не весь материал удалось интерпретировать, и не весь материал обладает одинаковой степенью достоверности. Здесь мы будем излагать только те данные, которые подвергались многократной проверке и которые с нашей точки зрения являются совершенно достоверными. Постараемся также сделать выводы из этих данных.

Теоретические соображения показывают, что опыты по изучению причинных связей и хода времени надо проводить с вращающимися телами — гироскопами. Первые опыты сделаны для проверки того, что закон сохранения импульса выполняется всегда и независимо от состояния вращения тел. Эти опыты проводились на рычажных весах. При замедлении гироскопа, вращающегося по инерции, его момент вращения должен передаваться весам, что вызывает неизбежное скручивание подвесов. Во избежание связанных с этим трудностей взвешивания вращение должно поддерживаться постоянным. Поэтому были использованы гироскопы авиационной автоматики, скорость которых поддерживалась переменным трехфазным током с частотой порядка 500 Гц. С этой же частотой происходило вращение ротора гироскопов. Оказалось возможным, не снижая существенно точности взвешивания, подводить ток к подвешенному на весах гироскопу с помощью трех очень тонких проводников, лишенных изоляции. При взвешивании гироскоп находился в закрытой герметически коробке, что совершенно исключало влияние воздушных токов. Точность взвешивания была порядка 0,1—0,2 мг. При вертикальном расположении оси и разных скоростях вращения показания весов оставались неизменными. Например, исходя из данных для одного из гироскопов (средний диаметр ротора $D=4,2$ см, вес ротора $Q=250$ г), можно заключить, что при линейной скорости вращения $u=70$ м/с сила, действующая на весы, остается неизменной с точностью большей, чем до шестого знака. В эти опыты было внесено еще следующее, интересное теоретически, осложнение. Коробка с гироскопом подвешивалась к железной пластинке, которую притягивали магниты, скрепленные с некоторым массивным телом. Вся система подвешивалась на весах через посредство эластичной резины. Ток к электромагнитам подводился с помощью двух очень тонких проводников. Система прерывания тока была установлена отдельно от весов. При разрыве цепи коробка с гироскопом падала до ограничителя, скрепленного с электромагнитами. Амплитуда этих падений и последующих подъемов могла достигать 2 мм. Взвешивание производилось при разных направлениях и скоростях вращения гироскопа, при разных амплитудах и при частотах колебаний от единиц до сотен герц. Для вращающегося гироскопа, как и для неподвижного, показания весов оставались неизменными.

Можно считать, что описанные опыты достаточно хорошо обосновывают теоретическое заключение о сохранении импульса в причинной механике.

Предыдущие опыты, несмотря на теоретический интерес, не давали никаких новых эффектов, могущих подтвердить роль причинности в механике. Однако при их выполнении было замечено, что при передаче вибраций от гироскопа на стойку весов могут появляться изменения показаний весов, зависящих от скорости и направления вращения гироскопа. Когда начинается вибрация самих весов, коробка с гироскопом перестает быть строго замкнутой системой. Весы же могут выйти из равновесия, если дополнительное действие гироскопа, возникшее от вращения, окажется перенесенным с оправы гироскопа на стойку весов. Из этих наблюдений возникла серия опытов с вибрациями гироскопов.

В первом варианте вибрации осуществлялись за счет энергии ротора и боя в его подшипниках при некотором в них люфте. Разумеется, вибрации мешают точному взвешиванию. Поэтому пришлось отказаться от прецизионных весов типа аналитических и перейти на технические весы, у которых ребра призмы соприкасаются с площадками, имеющими форму крышек. Все же при этом удалось сохранить точность порядка 1 мг в дифференциальных измерениях. Опорные площадки в виде крышек удобны еще и тем, что с ними можно производить взвешивание гироскопов, вращающихся по инерции. Подвешенный на жестком подвесе гироскоп мог передавать через коромысло свои вибрации стойке весов. При некотором характере вибраций, который подбирался совершенно на ощупь, наблюдалось значительное уменьшение действия гироскопа на весы при вращении его против часовой стрелки, если смотреть сверху. При вращении по часовой стрелке в тех же условиях показания весов практически оставались неизменными. Измерения, выполненные с гироскопами разного веса и радиуса ротора при различных угловых скоростях показали, что уменьшение веса в соответствии с формулой (6) действительно пропорционально весу и линейной скорости вращения. Например, при вращении гироскопа ($D=4,6$ см, $Q=90$ г, $u=25$ м/с) получилось облегчение $\Delta Q=-8$ мг. При вращении по часовой стрелке всегда оказывалось $\Delta Q=0$. При горизонтальном же расположении оси в любом азимуте наблюдалось среднее значение $\Delta Q=-4$ мг. Отсюда можно сделать заключение, что любое вибрирующее тело в условиях этих опытов должно показывать уменьшение веса. Дальнейшие исследования показали, что этот

эффект вызван вращением Земли, о чем подробно будет сказано ниже. Сейчас нам важно только, что при вибрациях создается новый нуль отсчета, относительно которого при вращении против часовой стрелки получается облегчение, а при вращении по часовой стрелке — совершенно одинаковое утяжеление ($\Delta Q = \pm 4$ мг). Таким образом, формулы (6) получают полное экспериментальное подтверждение. Из приведенных данных следует, что $C_2 = 550$ км/с. Согласно нашему условию вектор j направлен в ту сторону, откуда вращение кажется происходящим по часовой стрелке. Значит, при вращении гироскопа против часовой стрелки он направлен вниз. При таком вращении гироскоп облегчается, а значит, дополнительное действие его на стойку весов направлено вниз, т. е. по орту j. Это будет в том случае, если u и C_2 имеют одинаковые знаки. При нашем условии относительно направления орта j псевдоскаляр u положителен в левой системе координат. Следовательно, и ход времени нашего Мира положителен в левой системе. Поэтому в дальнейшем мы будем пользоваться всегда левой системой координат. Совокупность всех произведенных затем опытов позволила уточнить значение C_2:

$$C_2 = +700 \pm 50 \text{ км/с в левой системе координат.} \qquad (8)$$

Это значение делает весьма вероятным связь хода времени с другими универсальными постоянными по формуле (7) при $\alpha = 2$. Тогда безразмерная постоянная тонкой структуры Зоммерфельда становится просто отношением двух скоростей C_2/C_1, каждая из которых осуществляется в природе.

Опыты на весах с вибрациями гироскопа дают еще и новый принципиальный результат. Оказывается, что дополнительные силы действия и противодействия располагаются в разных точках системы — на стойке весов и на гироскопе. Получается пара сил, поворачивающих коромысло весов. Следовательно, время обладает не только энергией, но и моментом вращения, который оно может передавать системе.

Принципиальную проверку результатов, полученных с весами, дает маятник, в котором телом является вибрирующий гироскоп с горизонтальной осью, подвешенный на длинной тонкой нити. Как и в опытах с весами, при вращении гироскопа в спокойном режиме ничего не происходило, и эта нить не отклонялась от отвеса. При некотором же характере вибраций гироскопа нить отклонялась от отвеса всегда на одну и ту же величину (при заданном u) и именно в ту сторону, откуда вращение гироскопа происходило против часовой стрелки. При длине нити $l = 2$ м и $u = 25$ м/с отклонение составляло 0,07 мм, что дает для отношения горизонтальной силы к весу значение $3{,}5 \cdot 10^{-5}$, достаточно близкое к результатам взвешивания.

Существенным недостатком описанных опытов является невозможность простой регулировки режима вибраций. Поэтому желательно перейти к опытам, в которых вибрации создает не ротор, а неподвижные части системы.

На весах опора коромысла была охвачена специальной скобой, которая гибким тросом соединялась с длинной металлической пластинкой. Один конец этой пластинки лежал на шариковом подшипнике, эксцентрично насаженном на ось электромотора, и был связан с подшипником резиновым охватом. Другой конец пластинки был закреплен горизонтальной осью. Меняя скорость электромотора и положение связующего троса на пластинке, можно получить гармонические колебания опоры коромысла весов любой частоты и амплитуды. Направляющие для подъема опоры коромысла при арретировании весов исключали возможность горизонтального раскачивания. Для подвеса гироскопа было необходимо найти оптимальные условия, при которых вибрации передавались на ротор и вместе с тем этот конец коромысла оставался бы квазисвободным сравнительно с другим концом, к которому жестко подвешен уравновешивающий груз. При таких условиях коромысло может спокойно вибрировать, совершая повороты около своего конца, закрепленного грузом на жестком подвесе. Колебания этого рода удалось получить, подвешивая гироскоп на струне диаметром 0,15 мм и длиной порядка 1—1,5 м. С этой установкой наблюдалось изменение веса гироскопа при вращении его вокруг вертикальной оси.

Замечательно, что в сравнении с предыдущими опытами эффект оказывался противоположного знака. При вращении гироскопа против часовой стрелки наблюдалось не облегчение, а значительное утяжеление. Значит, в этом случае на гироскоп действует дополнительная сила, направленная в сторону, откуда вращение кажется происходящим по часовой стрелке. Этот результат означает, что причинность и ход времени вводят в систему вибрации и что источник вибрации фиксирует положение причины. В этих опытах источником вибрации является невращающаяся часть системы, а в первоначальном варианте опытов источником является ротор. Переставляя местами причину и следствие, мы изменяем по отношению к ним и направленность вращения, т. е. направление орта j. Отсюда по формуле (6) происходит изменение знака дополнительных сил. В обычной механике все силы совершенно не зависят от того, что является источником вибраций, а что следствием. В причинной же механике, наблюдая направление дополнительных сил, можно сразу сказать, где находится причина вибраций. Значит, действительно возможен механический опыт, отличающий причину от следствия.

Опыты с маятником дали тот же результат. Гироскоп, подвешенный на тонкой струне, при вибрации точки подвеса

отклонялся в сторону, откуда вращение происходило по часовой стрелке. Вибрации подвеса осуществлялись с помощью электромагнитного реле. К расположенной горизонтально железной пластинке реле был припаян гибкий металлический стержень, на котором крепилась струна маятника. Благодаря стержню колебания становились более гармоническими. Положение реле регулировалось таким образом, чтобы не было горизонтальных смещений точки подвеса.

Для контроля регулировки включался постоянный ток, при котором электромагниты притягивали пластинку и поднимали точку подвеса. Положение нити наблюдалось лабораторной трубой, имевшей шкалу с ценой деления 0,14 мм для наблюдаемого объекта. Оценивая на глаз доли этого широкого деления, можно было при многократных измерениях иметь результат с точностью до 0,01 мм. При длине маятника $l=3{,}3$ м и скорости вращения $u=40$ м/с отклонение гироскопа получалось равным 0,12 мм. Чтобы получить значение дополнительной силы ΔQ по отношению к весу ротора ($Q=250$ г), надо ввести поправку на вес оправы гироскопа $a=150$ г, т. е. умножить $\Delta l/l$ на $(Q+a)/Q$. Отсюда получается как раз то значение C_2, которое приведено выше в (8). В этих опытах оказалось, что для получения эффекта отклонения нити конец оси гироскопа, откуда вращение кажется по часовой стрелке, должен быть несколько поднят. Следовательно, должна в этом направлении существовать некоторая проекция силы, поднимающей гироскоп при вибрациях. Действительно, эффект отклонения получается еще легче, когда осуществляется параметрический резонанс нити с колебаниями, плоскость которых проходила через ось гироскопа. По-видимому, существование сил, действующих по направлению ju, усиливает сходство ju с ходом времени и облегчает преобразование $\pm iC_2$ на $\pm(iC_2+ju)$. Необходимо отметить, что ось гироскопа надо располагать в плоскости первого вертикала. При перпендикулярном расположении оси, т. е. в плоскости меридиана, возникает некоторое дополнительное смещение. Это смещение, очевидно, создают силы, вызванные вращением Земли, о которых мы упоминали, описывая первые опыты с вибрацией на весах. Обратимся теперь к объяснению природы сил.

Обозначим через u линейную скорость вращения точки, находящейся на поверхности Земли. Эта точка находится в гравитационном взаимодействии со всеми другими точками земного шара. Их действие равносильно действию всей массы Земли при некоторой средней скорости $\bar{u}$, значение которой находится между нулем и u на экваторе. Поэтому при наличии причинной связи могут возникнуть дополнительные силы, направленные по оси Земли подобно силам, действующим на гироскоп при вращении его со скоростью $(u-\bar{u})$ относительно опоры. Если причинные явления космической жизни Земли связаны с наружными слоями, то эти силы должны действовать на поверхности в сторону, откуда вращение кажется происходящим против часовой стрелки, т. е. к северу. Итак, в этом случае на поверхности Земли должны действовать силы хода времени:

$$\Delta Q=\frac{-j\,(u-\bar{u})}{C_2}\,|Q|, \qquad (9)$$

где j — орт вращения Земли, направленный к югу, и Q — действие силы веса на опору. На внутренние части Земли действуют силы противоположного направления, и по закону сохранения импульса центр тяжести Земли не смещается. В полярных областях $u<\bar{u}$, и поэтому там в обоих полушариях ΔQ будет направлено к югу. Следовательно, в каждом полушарии найдется характерная параллель, где $\Delta Q=0$. Под действием таких сил Земля примет форму кардиоиды, вытянутой к югу. Одним из параметров, характеризующих кардиоиду, является коэффициент асимметрии η:

$$\eta=\frac{b_S-b_N}{2a}, \qquad (10)$$

где a — большая полуось, а b_S и b_N — расстояния от полюсов до экваториальной плоскости.

У Юпитера и Сатурна экваториальная скорость u составляет около 10 км/с. Поэтому у этих планет с быстрым вращением коэффициент η может быть очень значительным и достигать в соответствии с выражениями (8) и (9) нескольких единиц третьего знака. Тщательные измерения фотографических изображений Юпитера, выполненные автором и Д. О. Мохначем [4], показали, что у Юпитера южное полушарие более вытянуто и $\eta=+3\cdot10^{-3}\pm0{,}6\cdot10^{-3}$. Аналогичный результат, лишь с меньшей точностью, был получен и для Сатурна: $\eta=7\cdot10^{-3}\pm\pm3\cdot10^{-3}$.

Изменения силы тяжести на поверхности Земли и движения искусственных спутников показывают, что существует некоторое различие ускорений тяжести в северном и южном полушариях: $\Delta g=g_N-g_S>0$, $\Delta g/g=3\cdot10^{-5}$. Для однородной планеты так и должно быть при вытянутом южном полушарии, ибо точки этого полушария находятся дальше от центра тяжести. Коэффициент η должен быть порядка $\Delta g/g$. Необходимо подчеркнуть, что этот наш вывод находится в прямом противоречии с принятой интерпретацией приведенных выше данных об ускорении тяжести. Суть этого расхождения заключается в том, что без учета сил хода времени увеличение тяжести в северном полушарии можно объяснить только присутствием там более плотных пород. В этом случае уровенная поверхность того же значения должна отступить дальше. Отождествляя уровенную поверхность с поверхностью Земли, остается заключить, что северное полушарие более вытянуто.

Однако знак η, полученный непосредственно для Юпитера и Сатурна, говорит против этой интерпретации, содержащей в себе еще и противоречивое предположение о неравновесном распределении пород внутри Земли.

Полученный знак асимметрии фигур планет приводит к парадоксальному выводу о том, что причина физических явлений внутри небесных тел находится в периферических слоях. Однако такой результат возможен, если, например, энергетика планеты определяется ее сжатием. В своих работах по внутреннему строению звезд [5] автор пришел к выводу, что энергетика звезд очень сходна с энергетикой охлаждающихся и сжимающихся тел. Недостаток знаний сути причинных связей не позволяет углубить этот вопрос. Вместе с тем мы должны настаивать на выводах, которые получены из асимметрии планет при сравнении их с гироскопами.

Направление отвеса на поверхности Земли определяется совокупным действием сил тяжести, центробежных сил и сил хода времени, действующих к северу в наших широтах. При свободном падении отсутствует действие на опору ($Q=0$) и поэтому $\Delta Q=0$. В результате свободно падающее тело должно отклоняться от отвеса к югу на величину Δl_S:

$$\Delta l_S = -\frac{\Delta Q_N}{Q} l, \tag{11}$$

где l — высота падения тела, а ΔQ_N — горизонтальная слагающая сил хода времени умеренных широт. Лет сто, двести тому назад эта проблема отклонения падающих тел к югу привлекала к себе очень большое внимание. Уже первые опыты, произведенные Гуком в январе 1680 г. по инициативе Ньютона для проверки отклонения падающих тел к востоку, привели Гука к убеждению, что падающее тело отклоняется не только к востоку, но и к югу. Эти опыты неоднократно повторялись и приводили к тому же результату. Лучшие определения были сделаны инженером Рейхом в шахтах Фрейбурга [6]. При $l=158$ м получилось $\Delta l_S=4{,}4$ мм к югу и к востоку $\Delta l_{\text{вост}} = 28{,}4$ мм — отклонение, которое хорошо согласуется с теорией. По формуле (11) из этих определений следует

$$\frac{\Delta Q_N}{Q} = 2{,}8 \cdot 10^{-5} \quad \text{при } \varphi = 48^\circ, \tag{12}$$

что хорошо согласуется с нашими ориентировочными представлениями об асимметрии фигуры Земли. Опыты по отклонению падающих тел от отвеса очень сложны и трудоемки. Интерес к этим опытам совершенно исчез после того, как Хаген в Ватикане [7] с помощью машины Автуда получил отклонение к востоку в блестящем согласии с теорией и не получил никакого отклонения к югу. На машине Автуда из-за натяжения нити отклонение к востоку уменьшается только вдвое. Отклонение же к югу при ускорении, равном $(1/25)g$ (как это было у Хагена), по формулам (9), (11) должно уменьшаться в 25 раз. Поэтому опыты Хагена ни в какой мере не опровергают эффект отклонения к югу.

Возвратимся теперь к явлениям, возникающим при вибрации тяжелого тела на поверхности Земли. Причинно-следственная связь внутри Земли создает на поверхности вместо обычного хода времени $\pm iC_2$ ход времени $\pm[iC_2 - j(u-\bar{u})]$. Поэтому на поверхности Земли на тело, с которым связана причина, должна действовать дополнительная сила ΔQ, направленная по оси Земли к северу и определяемая формулой (9). В месте же, где находится следствие, должна действовать сила противоположного знака, т. е. к югу. Значит, при вибрациях тяжелого тела оно должно облегчаться. В обратном случае, когда источник вибрации связан с опорой, тело должно утяжеляться. На маятнике при вибрации точки подвеса должно наблюдаться отклонение к югу. Эти явления открыли замечательную возможность: не только измерять распределение сил хода времени по поверхности Земли, но и изучать причинные связи и свойства времени самым простым образом, на обычных телах, без трудных опытов с гироскопами.

Опыты по изучению дополнительных сил, вызванных вращением Земли, имеют еще то преимущество, что вибрации точки опоры могут не достигать самого тела. Затухание вибраций даже необходимо, чтобы лучше выразить различие в положениях причины и следствия. Поэтому на весах достаточно тело подвешивать на короткой резине, обеспечивающей спокойный режим работы весов при вибрациях. На маятнике следует применять тонкую капроновую нить. В остальном опыты проводились так же, как и с гироскопами.

На весах при вибрации опоры коромысла действительно происходит утяжеление груза, подвешенного на резинке. Многократными опытами было доказано, что увеличение веса, т. е. вертикальная компонента дополнительной силы ΔQ_Z, пропорциональна весу тела Q. Для Пулково $\Delta Q_Z/Q=2{,}8\cdot10^{-5}$. Горизонтальная составляющая ΔQ_S определялась по отклонению маятников разной длины (от 2 до 11 м) при вибрации точки подвеса. При таких вибрациях маятники в соответствии с утяжелением груза на весах отклонялись к югу. Например, при $l=3{,}2$ м получилось $\Delta l_S=0{,}052$ мм. Отсюда $\Delta Q_S/Q=\Delta l_S/l= 1{,}6\cdot10^{-5}$, что вполне соответствует значению Рейха (11), найденному для более низкой широты. Если сила ΔQ направлена по оси Земли, то должно выполняться условие $\Delta Q_Z/\Delta Q_S=\operatorname{tg}\varphi$, где φ — широта места наблюдений. Из приведенных данных следует, что $\operatorname{tg}\varphi=1{,}75$ в полном соответствии с широтой Пулково.

Подобные опыты были осуществлены на более высокой широте в городе Кировске, и тоже получилось хорошее согласие

23 Заказ № 23

с широтой. На весах и на маятниках амплитуды вибраций точки опоры были порядка десятых долей миллиметра, а частоты изменялись до порядка десятков герц.

Измерения, выполненные на разных широтах северного полушария, показали, что действительно существует параллель, где отсутствуют силы хода времени: $\Delta Q=0$ при $\varphi=73°05'$. Экстраполируя данные этих измерений, можно получить для полюса следующую оценку: $\Delta Q/Q=6{,}5\cdot 10^{-5}$. Взяв значение C_2, найденное из опытов с гироскопами (8), находим отсюда для полюса $\bar{u}\cong 45$ м/с. На экваторе скорость вращения Земли в десять раз больше. Поэтому указанное значение $\bar{u}$ может казаться меньше ожидаемого. Однако надо иметь в виду, что мы сейчас не располагаем знанием глубокой связи тяготения с временем, которое необходимо для строгого расчета $\bar{u}$. Учитывая же огромную дистанцию в кинематике вращений лабораторного гироскопа и земного шара, можно считать полученные для обоих случаев результаты находящимися в очень хорошем согласии.

На весах была выполнена проверка предсказанного изменения знака, когда источником вибрации становился сам груз. Для этого под опорную площадку коромысла вводилась резиновая прокладка, а вместо груза на резине жестко подвешивался электромотор с эксцентриком, поднимающим и опускающим груз. При таких вибрациях вся кинематика коромысла весов оставалась прежней. Вместе с тем получалось не утяжеление, а облегчение системы, подвешенной к колеблющемуся концу коромысла. Этот результат совершенно исключает возможность классического объяснения наблюдавшихся эффектов и замечательно показывает роль причинности.

В опытах с вибрациями на весах изменение веса тела ΔQ_z происходит скачком, начиная с некоторой энергии вибрации. При дальнейшем увеличении частоты вибраций изменение веса остается сначала неизменным, а затем увеличивается скачком на ту же величину. Таким образом, оказалось, что помимо основной выделяющейся ступени ΔQ_z при хорошей гармоничности колебаний можно наблюдать ряд квантованных значений: $(1/2)\Delta Q$, ΔQ, $2\Delta Q$, $3\Delta Q$, ..., соответствующих непрерывному изменению частоты вибраций. Из наблюдений следует, что энергии вибраций начала каждой ступени образуют, по-видимому, такой же ряд. Иными словами, для получения кратных ступеней частоты вибраций должны увеличиваться в $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$ и т. д. раз. Получается впечатление, что весы с возбужденной ступенью ведут себя, как весы без колебаний, добавка же энергии вибраций приводит к появлению той же ступени ΔQ_z. Однако настоящего объяснения этому явлению еще не удалось найти. Остается совершенно непонятным появление половинного квантового числа. Эти квантовые эффекты наблюдались и в опытах с маятниками. Впоследствии оказалось, что квантованность эффектов получается почти во всех опытах. Следует отметить, что на всех весах наблюдается еще один интересный эффект, и тоже не нашедший отчетливого объяснения. Энергия вибрации, необходимая для возбуждения ступени, зависит от азимута весов. Энергия минимальна, когда груз на резине находится к югу от стойки весов, и максимальна, когда он находится к северу.

Опыты с вибрациями имеют тот недостаток, что вибрации всегда в какой-то степени нарушают правильность работы измерительной системы. Вместе с тем в наших опытах вибрации нужны только для того, чтобы фиксировать положение причины и следствия. Поэтому крайне желательно найти другой способ этой фиксации. Можно, например, пропускать постоянный электрический ток через длинную металлическую нить, к которой подвешено тело маятника. Ток можно вводить через точку подвеса и пропускать через очень тонкую нить у тела маятника, не мешающую его колебаниям. Силы Лоренца — взаимодействие тока и магнитного поля Земли — действуют в плоскости первого вертикала и не могут вызвать интересующего нас меридионального смещения. Эти опыты увенчались успехом. Так, на маятнике длиной 2,8 м при минусе напряжения в точке подвеса, начиная с 15 В, и силе тока 0,03 А скачком появлялось отклонение к югу на величину 0,024 мм, сохранившуюся при дальнейшем увеличении напряжения до 30 В. Этому отклонению соответствует относительное смещение $\Delta l/l=0{,}85\cdot 10^{-5}$, что составляет почти половину ступени, наблюдавшейся при вибрации. При плюсе напряжения в точке подвеса получилось аналогичное отклонение к северу. Таким образом, ничего не зная о природе электрического тока, уже только из одних этих опытов можно было заключить, что причиной тока является перемещение отрицательных зарядов.

Оказалось, что на маятнике положение причины и следствия можно фиксировать еще проще, нагревая или охлаждая точку подвеса. Для этого маятник должен быть подвешен на металлической нити, хорошо проводящей тепло. Точка подвеса нагревалась электрической спиралью. При накаливании до свечения этой спирали маятник отклонялся на половину ступени, как и при опытах с электрическим током. При охлаждении точки подвеса сухим льдом получалось отклонение к северу. Отклонение к югу можно получить и охлаждением тела маятника, помещая его для этого, например, в сосуд, на дне которого находится сухой лед. В этих опытах только при очень благоприятных обстоятельствах удавалось получить полный эффект отклонения. Очевидно, вибрации имеют некоторое принципиальное преимущество. Скорее всего, при вибрациях существенна не только диссипация механической энергии. Вероятно, силы вибраций, направленные по ju, способствуют появлению всех других дополнительных сил.

Успех термических опытов позволил для изучения горизонтальных сил перейти от длинных маятников к значительно более простому и более точному прибору — крутильным весам. Применялись крутильные весы оптимальной чувствительности, при которой ожидаемое отклонение составляло 5—20°. Было использовано коромысло аптекарских весов, к верхней дужке которых был припаян зажим, которым закреплялась тонкая вольфрамовая нить подвеса диаметром 35 мк и длиной порядка 10 см. Другой конец нити крепился таким же зажимом на неподвижной стойке. Во избежание накопления электрических зарядов и их электростатического действия весы через стойку надежно заземлялись. На один конец коромысла подвешивался металлический стержень вместе с небольшим стеклянным пузырьком, в который он входил. На другом конце подвешивался уравновешивающий груз порядка 20 г. Шкала, разделенная на градусы, позволяла определить угол поворота коромысла. Пузырек заполнялся снегом или водой и льдом. При этом возникал поток тепла по коромыслу к стержню, и весы, предварительно установленные в первом вертикале, поворачивались этим концом к югу. Горизонтальная сила ΔQ_S рассчитывалась по углу отклонения α с помощью формулы

$$\alpha = \frac{T^2 - T_0^2}{4\pi^2} \frac{g}{2l} \left(\frac{\Delta Q_S}{Q} \right), \qquad (13)$$

где T — период колебания крутильных весов, T_0 — период колебания одного коромысла, без грузов, g — ускорение силы тяжести и $2l$ — длина коромысла, т. е. расстояние между подвешенными грузами. В этой формуле угол α выражен в радианах. Например, на весах с $l=9{,}0$ см, $T=132$ с, $T_0=75$ с наблюдалось отклонение к югу на угол 17,5°. Отсюда по формуле (13) следует $\Delta Q_S/Q = 1{,}8 \cdot 10^{-5}$, что хорошо соответствует полученному ранее значению горизонтальных сил. Половинное и кратные значения наблюдались и в опытах с крутильными весами. Другим вариантом опыта было нагревание стержня маленькой спиртовкой, подвешенной вместо пузырька. Такая же спиртовка помещалась на другом конце коромысла с уравновешивающим грузом, но так, чтобы она не могла нагревать коромысло. При горении обеих спиртовок происходило одинаковое выгорание спирта, и в вертикальной плоскости весы не выходили из равновесия. В этих опытах неизменно получался обратный эффект — поворот к северу конца коромысла со стержнем.

Необходимо отметить один важный вывод, который вытекает из совокупности наблюдавшихся явлений. При воздействии на опору это воздействие может не достигнуть тяжелого тела и вместе с тем в теле возникают силы, приложенные в каждой его точке, т. е. силы массовые, а следовательно, тождественные изменению веса. Значит, воздействуя на опору, где находятся

силы натяжения, являющиеся следствием веса, можно получить изменение веса, т. е. изменение причины. Поэтому произведенные опыты показывают принципиальную возможность обращения причинных связей.

Второй цикл опытов по изучению свойств времени был начат в результате наблюдений над очень странными обстоятельствами, мешающими воспроизведению опытов. Уже в первых опытах с гироскопами пришлось столкнуться с тем, что иногда опыты удаются очень легко, а иногда, при точном соблюдении тех же условий, они оказываются безрезультатными. Эти трудности отмечались и в старинных опытах по отклонению падающих тел к югу. Только в тех опытах, где в широких пределах возможно усиление причинного воздействия, как, например, при вибрациях опоры весов или маятника, можно почти всегда добиться результата. По-видимому, кроме постоянного хода C_2 у времени существует еще и переменное свойство, которое можно назвать п л о т н о с т ь ю или интенсивностью времени. При малой плотности время с трудом воздействует на материальные системы, и требуется сильное подчеркивание причинно-следственного отношения, чтобы появились силы, вызванные ходом времени. Возможно, что наше психологическое ощущение пустого или содержательного времени имеет не только субъективную природу, но, подобно ощущению времени, имеет и объективную физическую основу.

Существует, по-видимому, много обстоятельств, влияющих на плотность времени в окружающем нас пространстве. Поздней осенью и в первую половину зимы все опыты легко удаются. Летом же эти опыты затруднительны настолько, что многие из них не выходят совсем. Вероятно, в соответствии с этими обстоятельствами, опыты в высоких широтах получаются значительно легче, чем на юге. Однако, кроме этих регулярных изменений, часто наблюдались внезапные изменения условий, необходимых для успеха опытов, которые происходили в течение одного дня или даже нескольких часов. Очевидно, плотность времени меняется в широких пределах из-за процессов, происходящих в природе, и наши опыты являются своеобразным прибором, регистрирующим эти перемены. Если это так, то оказывается возможным воздействие одной материальной системы на другую через время. Такую связь можно предвидеть, поскольку причинно-следственные явления происходят не только во времени, но и с помощью времени. Поэтому в каждом процессе Природы может затрачиваться или образовываться время. Это заключение оказалось возможным подтвердить прямым экспериментом.

Поскольку изучается явление такой общности, как время, очевидно, достаточно взять самый простой механический процесс, чтобы попытаться у времени изменить его плотность. Например, можно любым двигателем поднимать и опускать

груз или менять натяжение тугой резины. Получается система с двумя полюсами: источником энергии и ее стоком, т. е. причинно-следственный диполь. С помощью жесткой передачи полюсы этого диполя можно раздвинуть на достаточно большое расстояние. Будем один из этих полюсов приближать к длинному маятнику при вибрациях его точки подвеса. Вибрации надо настроить таким образом, чтобы возникал не полный эффект отклонения к югу, а лишь тенденция появления этого эффекта. Оказалось, что эта тенденция заметно возрастает и переходит даже в полный эффект, если к телу маятника или к точке подвеса приближать тот полюс диполя, где происходит поглощение энергии. С приближением же другого полюса (двигателя) появление на маятнике эффекта южного отклонения неизменно затрудняется. При близком расположении друг от друга полюсов диполя практически исчезало их влияние на маятник. Очевидно, в этом случае происходит значительная компенсация их влияния. Оказалось, что влияние причинного полюса не зависит от направления, по которому он расположен относительно маятника. Влияние его зависит только от расстояния. Многократные и тщательные измерения показали, что это влияние убывает не обратно пропорционально квадрату расстояния, как у силовых полей, а обратно первой степени расстояния. При подъеме и опускании груза 10 кг, подвешенного через блок, его влияние ощущалось на расстоянии в 2—3 м от маятника. Даже толстая стена лаборатории не экранировала этого влияния. Надо заметить, что эти опыты, подобно предыдущим, также не всегда удаются. Полученные результаты показывают, что вблизи системы с причинно-следственным отношением плотность времени действительно изменяется. Около двигателя происходит разряжение времени, а около приемника — его уплотнение. Получается впечатление, что время втягивается причиной и, наоборот, уплотняется в том месте, где расположено следствие. Поэтому на маятнике получается помощь от приемника и помеха со стороны двигателя. Может быть, этим обстоятельством объясняется и легкое осуществление опытов зимой и в северных широтах, а плохое летом на юге. Дело в том, что в наших широтах зимой находятся следствия динамики атмосферы южных широт. Это обстоятельство может помогать появлению эффектов хода времени. Летом же, и вообще на юге, нагрев солнечными лучами создает атмосферный двигатель, мешающий эффектам.

Воздействие времени принципиально отличается от воздействия силовых полей. Влияние причинного полюса на прибор (маятник) сразу создает две равные и противоположные силы, приложенные к телу маятника и к точке подвеса. Происходит передача энергии без импульса, а следовательно, и без отдачи на полюс. Это обстоятельство объясняет уменьшение влияний обратно пропорционально первой степени расстояний, поскольку по этому закону происходит убывание энергий. Впрочем, этот закон можно было предвидеть, исходя еще и из того обстоятельства, что время выражается поворотом, а следовательно, с ним надо связывать плоскости, проходящие через полюс с любой ориентацией в пространстве. В случае силовых линий, выходящих из полюса, их плотность убывает обратно пропорционально квадрату расстояний, плотность же плоскостей будет убывать именно по закону первой степени расстояния. Передача энергии без импульса должна обладать еще следующим очень важным свойством. Такая передача должна быть мгновенной — она не может распространяться, ибо с распространением связан перенос импульса. Это обстоятельство следует из самых общих представлений о времени. Время во Вселенной не распространяется, а всюду появляется сразу. На ось времени вся Вселенная проектируется одной точкой. Поэтому изменение свойства некоторой секунды всюду появляется сразу, убывая по закону обратной пропорциональности первой степени расстояния. Нам представляется, что такая возможность мгновенной передачи информации через время не должна противоречить специальной теории относительности и, в частности, относительности понятия одновременности. Дело в том, что одновременность воздействий через время осуществляется в той преимущественной системе координат, с которой связан источник этих воздействий.

Возможность связи через время, вероятно, поможет объяснить не только особенности биологической связи, но и ряд загадочных явлений психики человека. Быть может, инстинктивные знания получаются именно этим путем. Весьма вероятно, что этим же путем осуществляются и явления телепатии, т. е. передача мысли на расстояние. Все эти связи не экранируются и, следовательно, обладают свойством, характерным для передачи влияний через время.

Дальнейшие наблюдения показали, что в причинно-следственном диполе не происходит полной компенсации действия его полюсов. Поэтому в физических процессах может происходить поглощение или отдача некоторых свойств времени. Оказалось, что действие процессов можно наблюдать очень простыми опытами на несимметричных весах.

В первом варианте опытов несимметричность крутильных весов осуществляется различием подвесов грузов одинаковой массы на концах совершенно симметричного коромысла; один груз подвешивается на жестком коротком подвесе, а другой груз на длинной капроновой нити. Более совершенным оказался другой вариант крутильных весов с резкой неравноплечестью коромысла. Точка нити подвеса была взята рядом с большим грузом, масса которого раз в десять превышала массу малого груза, укрепленного на длинном плече коромысла. Это длинное плечо представляет собой длинную гибкую

стрелку с грузом на конце порядка одного грамма. Коромысло подвешивалось на капроновой нити диаметром около 30 мк и длиной порядка 5—10 см. Вся эта система помещалась под стеклянным колпаком, откуда можно откачать воздух. Окружавшая колпак металлическая сетка создавала защиту от возможных электростатитических воздействий.

Несимметричные весы при отсутствии внешних воздействий показали тенденции поворота длинным плечом, т. е. легким грузом, на юг. Любой же необратимый процесс, осуществляемый вблизи весов, вызывает поворот стрелки в направлении либо на процесс, либо в противоположную от него сторону в зависимости от характера процесса. Например, остывание ранее нагретого тела вызывало поворот стрелки на это тело, а холодное, постепенно согревающееся тело отклоняло стрелку в противоположную от него сторону. Оказалось, что на весы действуют самые разнообразные необратимые процессы: растворение солей, горение, сжатие или растяжение тел, простое перемешивание жидких или сыпучих тел и даже работа головы человека. Суть наблюдаемых воздействий на крутильные весы, по-видимому, заключается в том, что в том месте, где происходит необратимый процесс, изменяется плотность времени и из-за этого создается пространственное течение времени, поворачивающее крутильные весы. Появление сил, поворачивающих крутильные весы, изменяет потенциальную энергию весов. Поэтому в принципе должно произойти изменение во всяком, связанном с весами, процессе. Таким образом, сделанные наблюдения означают, что возможно бесконтактное воздействие через время одного процесса на другой. Значит, на протекание физико-химических процессов могут через время воздействовать различные внешние явления. Возможно, в известных опытах G. Piccardi [8], сопоставляющих с солнечной активностью скорости осаждения в воде некоторых взвесей (соединения висмута), проявляются не только обычные электромагнитные воздействия, но и воздействия через время. На коллоквиуме Международного Астрономического Союза по эволюции двойных звезд, состоявшемся в Брюсселе осенью 1966 г., автор сделал сообщение о физических особенностях компонент двойных звезд [9]. В двойных системах спутник является необычной звездой. В результате долгого существования по ряду физических свойств (яркость, спектральный тип, радиус) спутник становится похожим на главную звезду. На таких больших расстояниях исключается возможность воздействия главной звезды на спутник обычным образом, т. е. через силовые поля. Скорее всего, двойные звезды являются астрономическим примером воздействия процессов в одном теле на процессы в другом через время.

Среди многих произведенных опытов следует отметить наблюдения, показавшие существование еще другой интересной особенности в свойствах времени. Оказалось, что в опытах с вибрациями точки опоры весов или маятника возникшие дополнительные силы хода времени не исчезают с прекращением вибраций, а остаются в системе значительное время. Считая, что они убывают по экспоненциальному закону e^{-t/t_0}, были сделаны оценки времени релаксации. Оказалось, что t_0 не зависит от массы тела, но зависит от его плотности ρ. Получились следующие ориентировочные данные: для свинца $\rho=11$ г/см³, $t_0=14$ с; для алюминия $\rho=2{,}7$ г/см³, $t_0=28$ с; для дерева $\rho=0{,}5$ г/см³, $t_0=70$ с. Таким образом, возможно, что t_0 обратно пропорционально квадратному корню из плотности тела. Любопытно, что сохранение в системе дополнительных сил после прекращения вибраций можно наблюдать на весах самым простейшим образом. Представим себе уравновешенные весы, к которым один из грузов подвешен на резинке. Снимем одной рукой этот груз, а давлением другой руки на коромысло заменим действие снятого с него груза. Будем снятый груз трясти некоторое время (около минуты) за резину, а затем повесим его назад на весы. Весы покажут постепенное облегчение этого груза в соответствии с приведенным выше значением t_0. Разумеется, в этом опыте необходимо принять меры к тому, чтобы рука не нагревала коромысло весов. Вместо руки конец коромысла, с которого снят груз, можно удерживать и металлическим зажимом. Этот удивительно простой опыт иногда удается очень легко, но бывают дни, когда, подобно другим опытам, он выходит с трудом и даже совсем не выходит.

На основании приведенных выше теоретических соображений и всех экспериментальных данных можно сделать следующие общие выводы:

1. Выведенные из трех основных аксиом причинности следствия о свойствах хода времени подтверждаются опытами. Поэтому можно считать, что эти аксиомы обоснованы опытом. В частности, подтверждена аксиома II о пространственном неналожении причин и следствий. Поэтому передающие воздействия силовые поля следует рассматривать как систему дискретных, неналагающихся друг на друга точек. Этот вывод связан с общим философским принципом возможности познания Мира.

Для возможности хотя бы предельного познания совокупность всех материальных объектов должна быть исчислимым множеством, т. е. представлять собой дискретность, накладывающуюся на континуум пространства.

Что касается конкретных результатов, полученных при опытном обосновании аксиом причинности, то из них важнейшими являются заключения о конечности хода времени, возможности частичного обращения причинных связей и возможности получения работы за счет хода времени.

2. Опыты доказывают существование воздействий через время одной материальной системы на другую. Это воздействие не передает импульса, значит, не распространяется, а появляется мгновенно в другой материальной системе. Таким образом, в принципе оказывается возможной мгновенная связь и мгновенная передача информации. Время осуществляет связь между всеми явлениями Природы и в них активно участвует.

3. Время обладает разнообразными свойствами, которые можно изучить опытами. Время несет в себе целый мир еще неизведанных явлений. Физические опыты, изучающие эти явления, должны постепенно привести к познанию того, что собой представляет Время. Знание же должно показать нам, как проникнуть в мир времени и научить нас воздействовать на него.

Указатель литературы

1. Reichenbach H. The direction of time.— Berkeley; Los Angeles, 1956. 280+XII p. Рус. пер.: Рейхенбах Г. Направление времени. М., 1962. 396 с.
2. Whitrow G. J. The Natural Philosophy of Time. L.; Edinburgh, 1961. 324+XI p. Рус. пер.: Уитроу Дж. Естественная философия времени. М., 1964. 432 с.
3. Gauss C. F. Theoria residuorum biquadraticorum, commentatio secunda// Göttingishe Gelehrte Anzeigen. 1831. Bd 1. Stúdie 64. S. 635.
4.* Козырев Н. А. Возможная асимметрия в фигурах планет//Докл. АН СССР. 1950. Т. 70. № 3. С. 389—392.
5.* Козырев Н. А. 1) Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43; 2) Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии// Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.
6. Reich F. Fallversuche über die Umdrehung der Erde. Freiberg, 1832. 48 S.
7. Hagen J. G. La Rotation de la Terre, ses Preuves mécaniques anciennes et nouvelles//Specola Astronomica Vaticana [Roma]. 1912. Vol. 1. Append. 2. P. 1—53.
8. Piccardi G. 1) Les tests chimiques//Symposium international sur les Relations entre phénomènes solaires et terrestres en chimie-physique et en biologue, Uccle-Bruxelles, 8—10 octobre 1958. Bruxelles, 1960. P. 21—49; 2) Une hypothèse solaire//Ibid. P. 121—130.
9. Kozyrev N. A. Physical peculiarities of the components of double stars// Colloque “On the evolution of double stars”, Uccle (Belgique), 29 août—2 septembre 1966: Comptes rendus/Union Astronomique Internationale (IAU). 1967. P. 197—202, 212, 252 (Communications/Observatoire Royal de Belgique; Sér. B. N 17).

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВРЕМЕНИ

В настоящее время наметилась перспектива наблюдать астрономические объекты не только с помощью света, радиоволн или других частей спектра электромагнитного излучения, но и посредством тех изменений в физических свойствах времени, которые создают процессы, происходящие на этих телах. Хотя главной задачей настоящего изложения является описание методики таких наблюдений и полученных результатов, необходимо все же по возможности кратко остановиться на том, что следует понимать под физическими свойствами времени и как можно пользоваться ими при физических и астрономических исследованиях.

К заключению о существовании у времени физических свойств приводит исследование природы звездной энергии на основе данных астрономических наблюдений. Из этих данных следует обстоятельство фундаментального значения: светимость звезды является однозначной функцией массы и радиуса во всей, достаточно широкой области их возможных значений. При длительном существовании звезд необходимо равенство генерации энергии в звезде и ее расхода. Если эти процессы независимы друг от друга, то из этого условия следует жесткое ограничение возможных конфигураций звезд и упомянутая функциональная зависимость оказалась бы невозможной. Следовательно, в звездах нет источников энергии, которые не зависят от расхода. Вещество звезды отдает энергии столько, сколько может выйти в виде излучения с ее поверхности. Так будет при простом остывании или при контракционном механизме Гельмгольца — Кельвина, когда вещество звезды отдает не только тепловую, но и потенциальную энергию. Однако соответствующая шкала времени получается слишком короткой — для Солнца всего тридцать миллионов лет, что совершенно противоречит истории жизни Земли. Поэтому при остывании не происходит существенной перестройки звезд, а развиваются процессы, которые противодействуют этому. Звезда оказывается машиной, которая вырабатывает энергию. Опираясь на закон сохранения энергии, остается заключить, что звезда черпает свою энергию извне. Этот вывод снимает и трудность объяснения существования сверхгигантов, расхо-

Козырев Н. А. Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени//Вспыхивающие звезды: Труды симпозиума, приуроченного к открытию 2,6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории, Бюракан, 5—8 октября 1976 года. Ереван, 1977. С. 209—227.

дующих так много энергии, что ни один мыслимый ее запас не может обеспечить им достаточно длительную жизнь. Звезды существуют всюду и входят в самые разнообразные структуры, поэтому их энергию могут поддерживать явления, имеющие такую широту охвата, какую имеют только пространство и время. При обычных обстоятельствах пространство пассивно и дает просто место для событий. Время же уже само по себе событие, и оно может иметь не только пассивное свойство длительности, но представлять собой явление Природы. Тогда время, взаимодействуя с веществом звезды, может оказаться источником ее энергии.

Точные науки полагают, что у времени есть только одно пассивное свойство, которое измеряется часами. Это свойство может быть названо геометрическим, поскольку оно позволяет связать пространство и время в единое четырехмерное многообразие. Однако промежутки времени могут нести в себе и другие свойства. Если эти свойства реальны, то они должны проявлять себя в воздействии на материальные системы, на состояние вещества и на происходящие в нем процессы. Поэтому они должны быть активными физическими свойствами и благодаря им события Мира должны происходить не только во времени, но и с участием его в них. Физические свойства времени наполняют содержанием его промежутки и при этом могут не изменять его геометрии. Поэтому такое представление о времени не противоречит системе точных наук, а только дополняет их возможностью новых явлений. Однако такие явления в лаборатории не наблюдались, и поэтому не было необходимости ставить опыты по выявлению у времени его физических свойств. Теперь же астрономические данные показали существование воздействия времени на вещество, и поэтому возникает настоятельная необходимость лабораторного изучения этих возможностей. Получилась ситуация, аналогичная той, в которой оказался бы физик лаборатории, оторванной от Земли и находящейся в глубинах космоса. Едва ли он бы натолкнулся в своих опытах на действия сил тяготения. Вместе с тем эти силы определяют не только всю динамику космических тел, но и их внутреннее строение. Аналогия здесь заключается в том, что, несмотря на огромную потерю энергии, звезда представляет собой удивительный по совершенству термос. Например, вещество Солнца при температуре внутри него порядка десяти миллионов градусов может остывать в соответствии со шкалой времени Гельмгольца — Кельвина только на один градус за три года! Ничтожный приток энергии, необходимый для компенсации такого расхода, едва ли мог бы обратить на себя внимание в лабораторных условиях.

Простейшим физическим свойством времени может быть его направленный ход. В теоретической физике и статической

механике направленность хода времени считается свойством неравновесных систем, а не самого времени. Сопоставление будущего с ростом энтропии такой системы соответствует причинности, поскольку причины имеют свойство порождать многочисленные следствия; следствия же должны быть в будущем по отношению к причине. Естествознание вообще руководствуется этим сопоставлением будущего со следствием, которое, как оно полагает, принципиально отличается от причины. Причинно-следственные отношения, и в частности неравновесные системы, рассматриваются как прибор, позволяющий обнаружить ход времени, существующий всегда независимо от возможности его наблюдения. Если будущее принципиально отличается от прошедшего, то должно быть и различие в физических свойствах причин и следствий Возможность такого различия точными науками отвергается, поскольку его нет в их основах; в них нет принципа причинности, хотя и соблюдается последовательность во времени событий.

В силу общности задачи экспериментальное доказательство существования у времени направленного хода и его исследования должны быть поставлены на простейших механических системах, близких к системе материальных точек. Так как ход времени проявляется в причинных связях, то в эту систему должно быть внесено причинно-следственное отношение некоторым процессом, который, возникая в одной ее части, будет поглощаться в другой. В системе это причинное воздействие будет передаваться эстафетой с огромным числом звеньев. Нас будет интересовать то элементарное звено, где происходит непосредственная передача действия одной точки на другую. Из-за невозможности совмещения материальных точек между ними должна существовать пустая точка или точечное пространственное различие δx. Несовместность причин и следствий во времени приводит к существованию аналогичного временного различия δt. Величины δx и δt могут быть одного порядка малости, а их отношение — конечной величиной:

$$C_2 = \frac{\delta x}{\delta t}, \qquad (1)$$

которая и может служить мерой хода времени нашего Мира, как скорость превращения причины в следствие. Чтобы получить направленный ход времени, величина (1) должна иметь определенный знак, независящий от системы счета. Поскольку следствие находится в будущем по отношению к причине, то δt имеет вполне определенный знак. Что же касается δx, то его знак совершенно неопределен и зависит от принятого направления счета в пространстве. Однако при полной изотропности пространство обладает замечательным свойством несовместимости правого и левого винта, т. е. принципиального отличия правого от левого. Если δt является поворотом в плоскости,

перпендикулярной направлению причина — следствие, орт которого обозначим через i, то определенный знак δt может ориентировать плоскость, перпендикулярную к i, и дать величине C_2 определенный знак. Отсюда следует, что величина C_2 должна быть псевдоскаляром, а вектор iC_2 — линейной скоростью поворота вокруг оси i. С позиций причины и следствия повороты времени должны быть разных знаков. Поэтому с нашим элементарным звеном связаны два псевдовектора: $+iC_2$ в следствии и $-iC_2$ в причине. Действие одной точки на другую осуществляется ходом времени с этим свойством. Поэтому третий закон Ньютона можно рассматривать как следствие свойств хода времени и причинности.

При зеркальном отображении ход времени как псевдоскаляр изменяет знак. Поэтому Мир с обратным течением времени должен быть равноценен нашему Миру, отраженному в зеркале.

Представим себе идеальный волчок, состоящий из одной материальной точки, вращающейся вокруг направления j с линейной скоростью U, знак которой определяет вращение по или против часовой стрелки. Тогда с действием Φ через конец оси на точку опоры в направлении j будут в этих двух точках сопоставлены псевдовекторы $\pm jU$, подобные псевдовекторам хода времени $\pm iC_2$. Вполне возможно, что они складываются или вычитаются, и тогда в системе следует ожидать появления двух дополнительных сил $\Delta\Phi$:

$$\Delta\Phi = \pm j \frac{U}{C_2} |\Phi|. \tag{2}$$

Эти соображения и формула (2) могут быть справедливы только для одного причинно-следственного звена. В реальной же системе происходит причинное действие и со стороны той части системы, где находится следствие. Число таких звеньев может отличаться от числа звеньев нормальной передачи или с ним совпадать. Статистически может получиться различие поворотов времени в местах причины и следствия не на единичный угол формулы (1), а на некоторый угол φ. Поэтому в формуле (1), определяющей ход времени, должно стоять не δt, а $|\varphi|\delta t$, и соответственно ход времени будет иметь значение $C_2|\varphi|$. Это значение и следует подставить вместо C_2 в формулу (2), чтобы получить выражение для дополнительных сил, вызванных ходом времени, в реальной макроскопической системе:

$$\Delta\Phi = \pm j |\varphi| \frac{U}{C_2} |\Phi|. \tag{3}$$

Одна из этих двух сил должна действовать там, где находится причина, а другая там, где находится следствие.

Значения φ, кратные π, не дают различия времени на концах системы и равносильны случаю $\varphi=0$, когда отсутствует причинность. Из-за взаимодействия концов системы всякие другие

значения φ будут все время изменяться. Поэтому в системе с причинными связями, в которую введен гироскоп, устойчивые значения $\Delta\Phi$ могут появиться лишь при условии

$$\varphi = n\pi; \quad n = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \ldots \tag{4}$$

Многочисленные опыты, проведенные с различными гироскопами, были поставлены на таких простейших механических системах, как рычажные весы и длинные маятники. Эти опыты показали, что в этих системах действительно появляются две силы хода времени $\Delta\Phi$ в соответствии с формулой (3), направленные по оси гироскопа, зависящие от направления его вращения и возникающие ступенями по мере роста причинного воздействия между ротором и неподвижной частью системы. По измеренным значениям $\Delta\Phi$ первой ступени ($n=1$), зная вес гироскопа Φ и скорость ротора U, можно было согласно формуле (3) определить величину C_2/π:

$$C_2/\pi = 700 \pm 30 \text{ км/с}. \tag{5}$$

Таким образом, отношение C_2 к скорости света C_1 оказалось грубо равным 1/137 — постоянной тонкой структуры Зоммерфельда. Поэтому можно полагать, что ход времени связан с другими универсальными постоянными выражением

$$C_2 = e^2/\hbar. \tag{6}$$

Но если выражение $e^2/\hbar$ определяет существующую в Природе реальную скорость, то наличие безразмерной постоянной $e/\hbar C_1$ перестает быть загадочным и становится естественным как отношение некоторых двух скоростей.

Опыты с гироскопами позволяют определить не только величину хода времени, но и его знак. Если принять, что действие времени происходит при вращении гироскопа в сторону, противоположную ходу времени, т. е. при вычитании U из C_2, то для этого знака получится условие:

Поворот хода времени происходит по часовой стрелке, если смотреть из причины на следствие. Значит, C_2 является псевдоскаляром, положительным в правой системе координат.*

Обязательное сосуществование двух сил, вызванных ходом времени, имеет очень большое принципиальное значение. Из этого обстоятельства следует, что время может создавать в системе момент вращения и внутренние напряжения, работа которых будет изменять ее энергию. Следовательно, время может переносить энергию, момент вращения, но оно не переносит импульса.

Вращение Земли позволяет поставить без гироскопов очень простые и легко осуществимые опыты. Дело в том, что вес

---

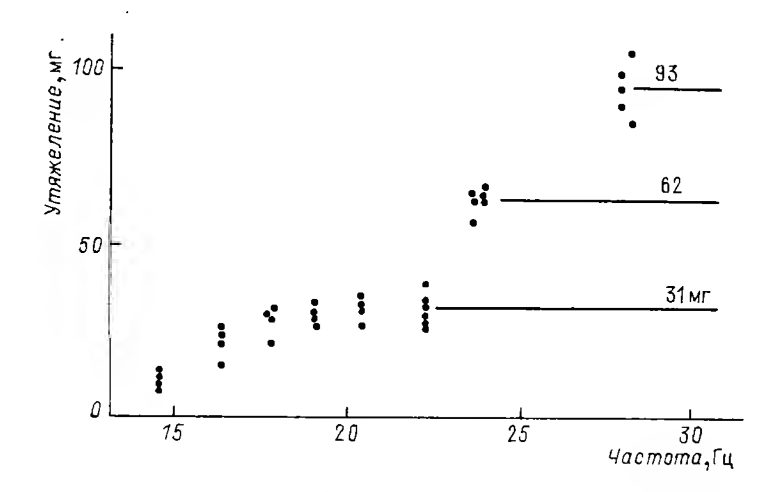
* В предыдущих наших работах были приняты одинаковые знаки у C_2, и U, поэтому там получился противоположный знак C_2.

любого тела обусловлен притяжением отдельных масс Земли, вращающихся с различными линейными скоростями. Поэтому с силой веса связана некоторая средняя скорость $\bar{U}$, отличная от скорости U параллели, где производится опыт, и с которой действуют силы реакций в системе. При внесении в систему причинности в ней, как и в опытах с гироскопами, следует ожидать появления сил хода времени в соответствии с формулой (3), в которой j будет ортом направления земной оси и в которой U должно быть заменено на $(U-\bar{U})$. Эти силы удалось получить и измерить на обычных рычажных весах, к коромыслу которых один груз был подвешен жестко, а другой на эластичном подвесе. Опора центральной призмы была присоединена к вибрационному механизму, который создавал вертикальные вибрации. Вибрации распространялись по коромыслу, поглощались эластичным подвесом и создавали необходимый поток причинного воздействия. Кинематика коромысла получалась такой, при которой конец его с грузом на жестком подвесе не испытывал колебаний, а конец с эластичным подвесом имел амплитуду в два раза большую, чем амплитуда центральной призмы. Амплитуда призмы была порядка миллиметра, а частота не превышала 30 Гц, с тем чтобы ускорения были меньше ускорения тяжести и призма не могла отрываться от опоры. Получался спокойный режим взвешивания, при котором неизменно наблюдалось ступенчатое утяжеление груза на эластичном подвесе. Другая сила противоположного направления должна быть приложена к опоре коромысла. Результаты одного из таких измерений при различных частотах показаны на фиг. 1, где по вертикальной оси отложен эффект утяжеления груза, пересчитанный на один килограмм.

Эти измерения были выполнены в Пулкове. Эффект зависит от широты и, как показали измерения, совершенно исчезает на параллели 73°05′, где, следовательно, $U=\bar{U}$.

Многократные измерения показали, что хотя ступени утяжеления груза остаются неизменными, но частоты вибраций, при которых они возникают, меняются очень сильно в зависимости от обстоятельств, лежащих вне контроля лаборатории. Существует и сезонный ход: осенью опыты выходят значительно легче, чем весной. Пришлось прийти к выводу, что происходящие в природе процессы ослабляют или усиливают рост причинного воздействия в системе. Осуществление различных процессов около системы подтвердило предположение. Поворот времени φ формулы (3) оказался пропорциональным не только потоку причинности в системе, но еще и некоторой другой величине, которая зависит не от системы, а от окружающих процессов. Эта величина может быть названа плотностью времени, значит, у времени, кроме направленного хода, есть еще и другое физическое свойство — его плотность. Процессы, усиливающие в системе причинное действие, увеличивают плотность

времени в окружающем их пространстве. Процессы же противоположного действия уменьшают его плотность. В первом случае можно говорить об излучении времени, а во втором — о его поглощении. Процессы, увеличивающие энтропию там, где они происходят, излучают время. Это, например, такие процессы, как разогрев тела, таяние льда, испарение жидкостей, растворение в воде различных веществ и даже увядание растений. Противоположные же им процессы, например остывание тела,



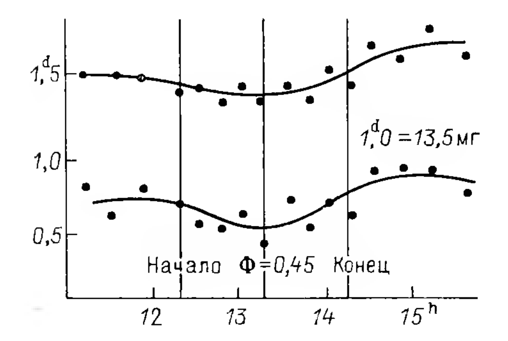
Фиг. 1. Ступенчатый ход утяжеления груза с ростом частоты вибраций на рычажных весах.

замерзание воды, поглощают время, и в их окрестности уменьшается его плотность. Оказалось, что измеряющую систему можно защитить экранами от этих действий со стороны происходящих вблизи процессов. Такими экранами могут быть разнообразные твердые вещества: металлические пластины, стекло, керамика — при толщине их в один-два сантиметра. Жидкости экранируют значительно слабее; так, для поглощения действия времени водой, необходим слой ее толщиной в несколько дециметров. Если Солнце благодаря процессам, которые в нем происходят, излучает время, то Луна во время затмений должна экранировать действие Солнца через время на Землю. Исследование такого явления надо проводить при частных затмениях, чтобы исключить возможность нарушения метеорологической обстановки, которая, как известно, остается неизменной во время затмений с малой фазой.

Наблюдения на рычажных весах в вибрационном режиме были проведены в Пулкове во время пяти солнечных затмений: 61, 66, 71, 75 и 76 года. Очень затруднительно следить за изменением частоты вибраций, необходимой для получения данной

24 Заказ № 23

ступени утяжеления груза. Поэтому при неизменной и строго контролируемой частоте наблюдалась сама величина утяжеления груза. Как показывает фиг. 1, всегда существует некоторая естественная дисперсия около среднего положения ступени. Поэтому при изменении плотности времени может получиться сдвиг среднего значения измерений относительно его прежнего положения. При всех наблюдавшихся затмениях происходило уменьшение сил, вызванных ходом времени. На фиг. 2 приведен пример таких наблюдений во время затмений 1971 г. Измерения производились на двух частотах, вызывавших эффекты первой и второй ступени. Эти наблюдения позволяют с достаточным основанием утверждать, что во время затмений уменьшается плотность времени. Следовательно, Солнце излучает не только свет, но и время.



Фиг. 2. Уменьшение эффекта утяжеления груза во время затмения Солнца 25 февраля 1971 г.

Уменьшение плотности времени должно происходить не только при затмениях, но и при восходе или заходе Солнца. Однако в обычных условиях в эти моменты происходят сложные геофизические процессы, перекрывающие эффект экранирования Солнца выпуклостью Земли. Только в конце зимы, при большом снежном покрове и низком Солнце, удавалось наблюдать в чистом виде этот эффект. На протяжении ряда лет в Пулкове в феврале-марте наблюдался резкий скачок показаний вибрационных весов, с точностью до минуты совпадающий с моментом истинного заката Солнца без учета рефракции. Это и другие дифференциальные эффекты получались и на весах, в которых необходимый поток причинности осуществлялся не вибрациями, а распространением тепла по коромыслу весов.

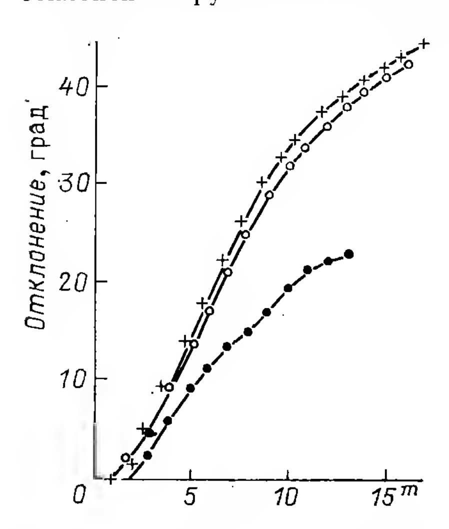
Наблюдения солнечных затмений показали принципиальную возможность изучения космических тел с помощью физических свойств времени. Но для получения конкретных результатов и для возможности наблюдений других космических объектов надо было усовершенствовать методику и найти другие способы регистрации физических свойств времени. Решение этой задачи получилось в результате многолетней совместной работы с В. В. Насоновым. Только благодаря его инициативе и его большому техническому опыту удалось найти и осуществить методику, необходимую для астрономических наблюдений.

Плотность времени представляет собой некоторую скалярную величину, которая и наблюдалась в предыдущих опытах. Плотность времени убывает с расстоянием от создающего ее процесса. Поэтому должно наблюдаться и векторное свойство, соответствующее градиенту плотности, которое можно трактовать как излучение времени. Для обнаружения этого свойства было совершенно естественно обратиться к крутильным весам. После многочисленных проб была найдена простейшая их конструкция, решающая поставленную задачу. Крутильные весы должны иметь демпфирование, а их коромысло должно быть резко неравноплечным и соответственно этому иметь большой груз на коротком плече. Впоследствии оказалось, что не нужно специального демпфера и вполне достаточно сопротивления воздуха в сосуде с этими весами. Вероятно, демпфирование необходимо для того, чтобы происходило причинное разделение сил в неизбежной паре, которую передает системе время. Хорошие показания дают крутильные весы с отношением плеч порядка 1 : 10. Материал коромысла и грузов может быть любым, и то же относится к нити подвеса. Практически же лучше применять свинцовые грузы, а для подвеса капроновую нить диаметром в 15 мкм при длине порядка 5—10 см. Во избежание помех со стороны электростатических явлений эти несимметричные весы должны находиться в металлическом сосуде цилиндрической формы и быть закрытыми сверху обыкновенным, неорганическим стеклом.

Произведенные с этими весами опыты показали, что стрелка весов, т. е. длинный конец коромысла, отталкивается от всех перечисленных выше процессов, излучающих время, и притягивается к процессам, его поглощающим. Исследования показали, что стрелку весов притягивают очень многие процессы: любые деформации тела, удары воздушной струи от препятствия, работа песочных часов, поглощение света, присутствие наблюдателя и все процессы, связанные с трением. Нулевой отсчет, т. е. нормальное положение стрелки, устанавливался не кручением нити, а действием совокупности происходящих вокруг процессов. Наблюдавшиеся повороты весов происходили на десятки градусов, что соответствовало силам порядка 10^{-3}—10^{-4} дин. Таким образом, при весе коромысла в несколько граммов его повороты были вызваны силами, составлявшими 10^{-6}—10^{-7} от действующих в системе сил.

Защита экранами крутильных весов от влияния процессов оказалась такой же, как и на рычажных весах в вибрационном режиме. Оказалось, что вещество экрана перестраивается под действием происходящих процессов. Действительно, тело, нахо-

дившееся некоторое время вблизи процесса и поднесенное затем к крутильным весам, действовало на них так же, как и сам процесс. Запоминание действия процессов свойственно различным веществам, кроме алюминия. Вместе с тем алюминий является удивительно хорошим экраном. На фиг. 3 показаны отклонения крутильных весов под действием испарения ацетона при экранировании их слоем картона значительной толщины, тонкой стеклянной пластинкой и такой же пластинкой с зеркальным слоем распыленного на ней алюминия. Такой тонкий слой не может создать поглощения. Однако этот слой уменьшил действие процесса почти в два раза. Отсюда следует, что кроме поглощения времени существует еще и его отражение, а алюминиевое покрытие является превосходным отражателем не только света, но и времени.

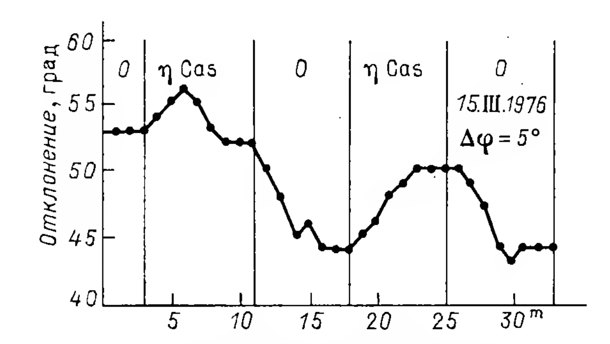


Фиг. 3. Отклонение при испарении ацетона стрелки крутильных весов, защищенных экранами:
+ — слой картона, ○ — стеклянная пластинка, ● — такая же пластинка с распыленным на ней алюминиевым покрытием.

Существование отражения времени было проверено непосредственно опытами. Коробка с крутильными весами была окружена надежной защитой, в которой оставлена вертикальная щель. Процессы испарения жидкостей или нейтральный в тепловом отношении процесс растворения в воде сахара осуществлялись за защитой, вдали от щели, и не оказывали влияния на весы. При зеркале же, поставленном перед щелью и отражавшем в нее процесс, наблюдалось отталкивание стрелки весов. Совершенно естественно, что процессы, притягивающие стрелку, т. е. поглощающие время, не отражаются зеркалом. Опыты показали справедливость обычного закона отражений: угол действия на зеркало равен углу отражения. Следовательно, вогнутое зеркало должно собирать и фокусировать действие процессов и, значит, возможны наблюдения космических объектов посредством времени на отражательных телескопах. Такие наблюдения были осуществлены в Пулкове на телескопе с отверстием 70 см (РМ-700) и в Крымской обсерватории на телескопе 50 см (МТМ-500).

Наблюдения проводились в фокусе кудэ телескопа. При таких наблюдениях весы могли оставаться неподвижными и стоять на прочном фундаменте. Звезда проектировалась через

стеклянную крышку футляра на его дно около длинного конца коромысла, и затем ее свет перекрывался черной бумагой. Вещество, подвергнутое действию процесса, само работает как процесс и поэтому место проекции звезды должно отталкивать стрелку весов. Некоторые астрономические объекты действительно вызывали надежные, многократно повторенные отклонения весов. На фиг. 4 показан пример регистрации отклонений



Фиг. 4. Действие на крутильные весы звезды η Cas по наблюдениям на телескопе РМ-700 в Пулкове.

весов при наблюдениях звезды η Cas на телескопе РМ-700. Столбцы с обозначением 0 отмечают промежутки времени, когда действие звезды на весы было снято. Несмотря на то, что эти наблюдения проводились в сравнительно благоприятных условиях, дрейф нулевого положения весов из-за окружающих процессов был очень значительным. Однако на фоне этого дрейфа совершенно отчетливо выступает действие звезды, отклонившее весы на угол $\Delta\varphi \approx 5°$. Приблизительно такой же эффект показал знаменитый источник рентгеновского излучения Cyg X — 1.

Приведем теперь сводку всех наблюдений, проведенных с крутильными весами. В нее внесены только те объекты, которые наблюдались неоднократно.

1. Объекты, не показавшие отклонений весов, $\Delta\varphi=0°$:

Звезды: α Aql, α Aur, α Boo, α Cyg, α Her, α Ori, α Tau, β Cem, γ Cas, 61 Cyg. Цефеиды: η Agl, S Sge. Пульсар CP 1133. Другие объекты: шаровое скопление М13, открытые скопления: Ясли, x Per. Туманности Лиры и Ориона, галактики М82 и Сейферта NGC 1275, а из планет — Сатурн.

2. Малые отклонения, $\Delta\varphi=2°—3°$:

Галактики: М81, скопление галактик в Virgo NGC 4594, туманность Андромеды.

3. Значительные отклонения, $\Delta\varphi=3° — 5°$:

α CMa, α Leo, η Cas, белые карлики: W 1346, Hert z3, z43, источник Cyg *X* — 1 и галактический центр.

4. Большое отклонение дает α CMi: $\Delta\varphi=9°$ как среднее из 14 наблюдений.

5. Изменяющиеся отклонения:

Луна дает независимые от ее фазы, крайне нерегулярные $\Delta\varphi$ в пределах от 0 до 4°. Венера показала еще более сильные изменения $\Delta\varphi$: от 0 до 12°.

Из этих данных можно сделать заключение, что среди звезд особенно сильно излучают время сверхплотные объекты: белые карлики и источник Cyg X — 1, возможно, как черная дыра. Большие эффекты от Проциона и Сириуса скорее всего вызваны излучением их спутников — белых карликов. Вероятно, это относится и к α Leo — визуально тройной звезде со слабым компонентом, который, наверное, тоже является белым карликом. Сверхгиганты и гиганты не показывают заметного излучения времени. Планеты земной группы излучают время не регулярно, вероятно при тектонических или других происходящих в них процессах. Так как действие времени подчиняется законам геометрической оптики, то оно должно убывать обратно пропорционально квадрату расстояния от излучающих его объектов и это обстоятельство надо учитывать при сравнении полученных результатов.

Возможность астрономических наблюдений показывает, что земная атмосфера и, вероятно, любая газовая среда время существенно не поглощают. Оказалось, что с помощью времени можно наблюдать не только ночью, но и днем и даже через легкую облачность. Однако через тучи и плотные облака наблюдать нельзя, вероятно, из-за большого количества в них водяных капель.

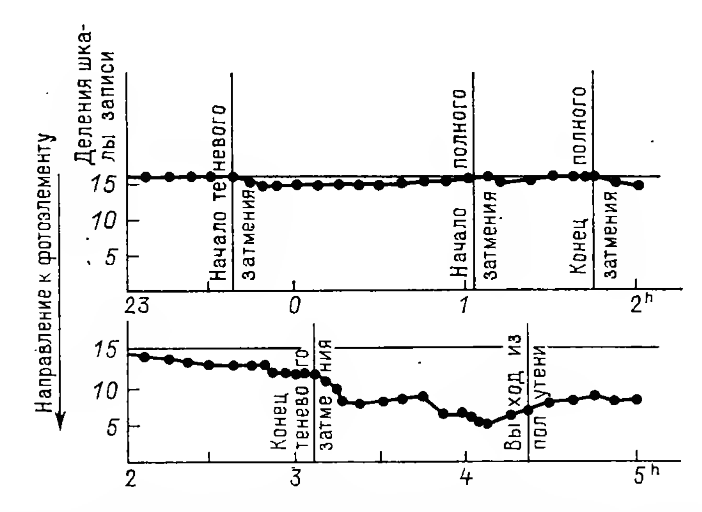
Поиски более удобной для наблюдений механической конструкции обнаружили, что время может переносить не только две силы, которые, распределяясь в системе, создают в ней момент вращения, но что время уже в себе несет момент вращения, подобно свету, поляризованному по кругу. Это обстоятельство было обнаружено в опытах с однородным диском, подвешенным вместо коромысла крутильных весов за его центр. На стеклянную крышку футляра с диском был положен толстый экран с отверстием над точкой подвеса диска. Благодаря такой защите можно было действовать процессом только на точку подвеса. При осуществлении процессов, излучающих время, диск поворачивался по часовой стрелке, а при поглощающих время процессах, наоборот, — против часовой стрелки, если смотреть от точки подвеса на диск. Для успеха опытов необходима возможно бóльшая однородность материала диска, в противном случае он начинает работать как несимметричные крутильные весы. Поэтому применялись легкие диски из прессованного, не прокатанного картона. На диске недопустима даже черта, и для фиксации поворота приходилось ограничиваться небольшой отметкой на его крае. В опытах с дисками обнаружилось замечательное явление: под действием отраженного в зеркале процесса, диск поворачивается в сторону, противоположную той в которую он поворачивался при прямом действии процесса. Из этого обстоятельства прямо следует, что диск поворачивается под действием момента, который приносит с собой время. Вероятно, этот момент несет ход времени, существующий как поворот, независимо от материальной системы. Поскольку процесс, излучающий время, является причиной действия на диск, то полученные направления вращения диска подтверждают данное выше определение знака хода времени. Значит, действительно, на гироскоп действует время, когда он вращается в противоположную с ним сторону.

Вероятно, при астрономических наблюдениях диск имеет преимущество в сравнении с несимметричными крутильными весами: при работе с диском звезду надо проектировать на совершенно определенную точку его подвеса. К сожалению, удалось провести только несколько отрывочных наблюдений с дисками на телескопе МТМ-500. 26 апреля 1975 г. наблюдался совершенно отчетливый поворот диска на 5—7° от действия Луны на точку подвеса при точном возвращении его в прежнее положение. Из-за четного числа отражений фокуса кудэ поворот происходил по часовой стрелке. Звезда α Boo на диск, как и на крутильные весы, не оказывала действия.

Механические системы благодаря их простоте позволяют приходить к однозначным заключениям о природе изучаемых с их помощью явлений. Но для практических целей они неудобны. Поэтому необходим прибор, работа которого должна быть основана на изменениях физических свойств вещества, происходящих под действием времени. Запоминание телами действий процессов говорит о том, что такие изменения действительно происходят. Однако оставалось неясным, каким методом физических измерений можно их обнаружить. Найти решение этого вопроса помогло наблюдение полного лунного затмения 18 ноября 1975 г.

Затмение наблюдалось на несимметричных крутильных весах с автоматической записью их показаний. Для такой регистрации к стрелке весов был прикреплен флажок, отбрасывавший резкую тень на элемент солнечной батареи, расположенной под ним, при освещении лампочкой сверху. Оказалось, что процесс происходящий в фотоэлементе, притягивает стрелку весов. Поэтому фотоэлемент был расположен на некоторой оптимальной высоте, при которой он мог удерживать над собой стрелку, не снижая при этом чувствительности весов. Поворот стрелки с флажком вызывал изменение тока от фотоэлемента, которое регистрировал самописец. Во время затмения на Луне происходят очень сильные процессы охлаждения и последующего разогрева ее поверхности от —120° до +100 °С. Процесс охлаждения сопровождается поглощением времени, которое может быть

втянуто из ее недр, без изменения плотности времени на далеком от Луны расстоянии. Процесс же разогревания излучает время и может увеличить плотность времени не только на Луне, но и на Земле. При увеличении плотности времени можно ожидать усиления действия фотоэлемента на стрелку весов. Весы с регистрацией были оставлены без наблюдателя на всю ночь.



Фиг. 5. Изменение действия фотоэлемента на крутильные весы во время полного затмения Луны 18 ноября 1975 г.

Из копии полученной записи (фиг. 5) видно, что охлаждение лунной поверхности не влияло на положение стрелки весов, а начавшийся разогрев действительно вызвал усиление действия фотоэлемента, которое стало прекращаться уже в конце полутеневого затмения. В слабой степени такое же явление удалось наблюдать при изменении освещения Солнцем поверхности земли от проходивших кучевых облаков. Вероятно, изменение действия фотоэлемента на коромысло весов сопровождается и изменением его работы, т. е. изменением возможности выхода из него электронов. Поэтому первая конструкция, основанная на изменении под воздействием времени физических свойств вещества, была осуществлена посредством фотоэлементов.

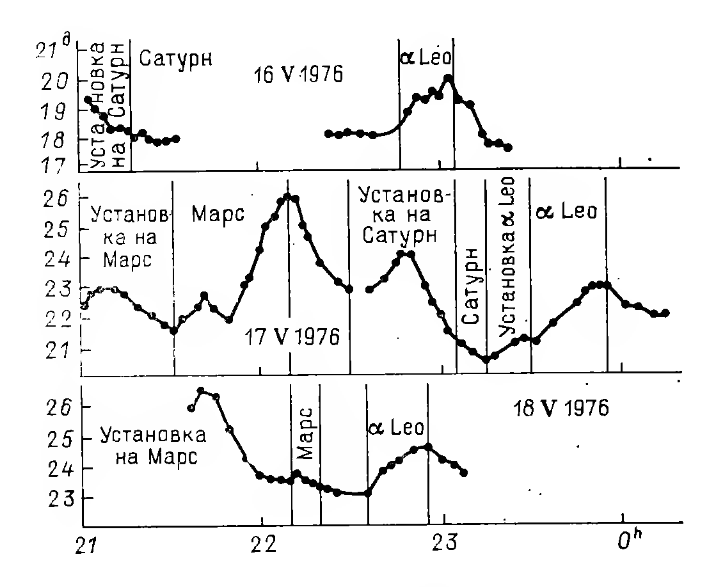
Два возможно более одинаковых фотоэлемента были укреплены на внутренней стороне крышек, закрывавших трубку, в середину которой через отверстие была вставлена лампочка карманного фонаря. Плюс одного фотоэлемента присоединялся к минусу другого, и между этими соединениями был включен гальванометр (М-95) с ценой одного деления $2 \cdot 10^{-9}$ А. Полное равенство работы фотоэлементов, при котором гальванометр не показывал тока, достигалось диафрагмированием падавшего

на них света от лампочки. При этих условиях гальванометр показал, что действительно происходит изменение работы фотоэлемента, когда вблизи его осуществляется некоторый процесс. Наблюдавшиеся отклонения гальванометра были порядка нескольких делений его шкалы. Следовательно, при токе от фотоэлементов солнечной батареи около 1 mA относительное изменение работы фотоэлемента составляло 10^{-5}—10^{-6}, что по порядку близко к изменениям сил в системе крутильных весов. Все процессы, которые отталкивают стрелку крутильных весов и излучают время, ослабляли работу фотоэлемента: процессы же, поглощающие время, способствовали его работе. Все особенности от действия процессов на крутильные весы наблюдались и здесь, как, например, медленное возвращение системы к исходному положению. Кривая действия тела, запомнившего процесс, оказалась сходной в подробностях с кривыми отклонений крутильных весов. Алюминий и в этом случае не показал запоминания. Наибольший эффект запоминания процессов того и другого знака показал сахар — около двух делений шкалы гальванометра.

Телескопические наблюдения на системе с фотоэлементами не проводились. Только через окно лаборатории наблюдалось действие Луны. Изображение Луны проектировалось небольшим вогнутым зеркалом на наружную сторону крышки трубки с фотоэлементом, после чего свет Луны перекрывался черной бумагой. Как и на крутильных весах, действие Луны оказалось очень переменным. Только один вечер наблюдалось совершенно отчетливое отклонение гальванометра на одно деление шкалы. Это отклонение получилось в сторону, обратную той, в которую отклоняется гальванометр под действием процессов, излучающих время. Такое изменение знака могло произойти из-за отражения в зеркале. Действительно, опыты показали, что отражаться зеркалом может только действие излучающих время процессов, но при этом действие на фотоэлемент становится обратным. Значит, работа фотоэлемента изменяется по той же причине, по которой поворачивается диск, и, следовательно, фотоэлемент реагирует на момент вращения, который несет с собой время.

После опытов с фотоэлементами была найдена еще более простая физическая система, основанная на изменении под действием времени электрического сопротивления проводников. Эти изменения регистрировались тем же гальванометром по схеме мостика Уитстона. Хорошие результаты дали проволочные сопротивления ПТМН-0,5, обладающие малым положительным температурным коэффициентом $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ на градус. Чтобы соблюдалось условие наибольшей чувствительности мостика, все его четыре сопротивления были взяты равными внутреннему сопротивлению гальванометра 5000 Ом. На мостик подавалось стабилизированное напряжение 30 В, при котором одно деление

шкалы гальванометра отвечало изменению сопротивления на $1{,}4\cdot10^{-2}$ Ом, что составляет $3\cdot10^{-6}$ относительного изменения. Для удвоения эффекта сопротивления, взятые в мостике накрест, располагались рядом, образуя две пары, каждая из которых занимала площадь 15×15 мм. Во избежание температурных влияний они были помещены в картонную трубку с деревянными заглушками, которая была вставлена внутрь трех дюра-



Фиг. 6. Наблюдение изменений сопротивления проводника под действием звезды α Leo, Сатурна и Марса.

левых трубок, закрытых крышками тоже из дюраля. Против каждой пары сопротивлений в дюралевых трубках было просверлено отверстие диаметром 15 мм, заклеенное бумагой. При этих условиях показания гальванометра даже в башне телескопа были достаточно устойчивыми. Все процессы, излучавшие время, вызывали уменьшение сопротивления, а обратные процессы его увеличивали в пределах нескольких делений шкалы, что соответствует относительному изменению порядка 10^{-5}— 10^{-6}. При отражении в зеркале знак эффекта не изменялся. Следовательно, на эту систему действует то же свойство времени, которое поворачивает крутильные весы.

Астрономические наблюдения с этим прибором были осуществлены на телескопе МТМ-500 в 1976 г. Изображение звезды проектировалось на бумагу одного из отверстий трубки, диаметр которого в масштабе фокуса телескопа составлял 7′,5. Свет звезды, как обычно, устранялся тонким экраном. На фиг. 6 изображены результаты наблюдений трех ночей. Каждый раз

с установкой телескопа на объект были связаны процессы, влиявшие на положение нуля гальванометра. Фиг. 6 показывает, что Сатурн, как и на крутильных весах, не вызвал эффекта и не влиял на показания гальванометра. Звезда же α Leo в соответствии с прежними наблюдениями в течение всех этих ночей показала совершенно отчетливое действие на прибор. Марс, как и другие планеты земной группы, дает переменный эффект: 17 мая его действие было очень значительным, а 18 мая почти отсутствовало. Из-за медленного возвращения гальванометра к исходному положению прибор при частых воздействиях теряет чувствительность, что и случилось 18 мая: эффект от α Leo получился более слабым, чем раньше. Другие объекты полностью подтвердили прежние результаты, полученные с крутильными весами. Галактика М 82 не показала действия, но наблюдалось отклонение гальванометра на 0,4 деления от галактики М 81. α Воо и Луна (11 мая) не показали эффекта.

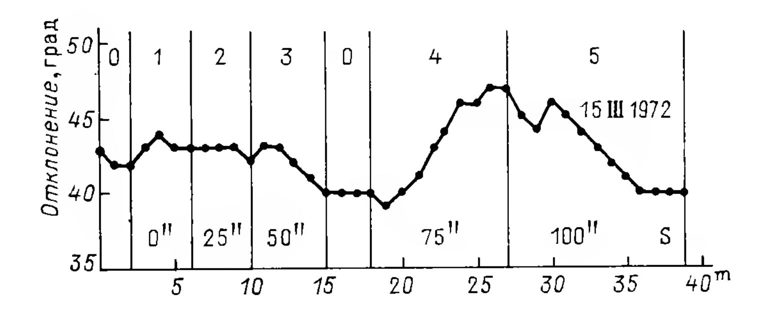
При телескопических наблюдениях физические системы имеют большое преимущество перед системами механическими. Они осуществляют дифференциальные измерения сравнением элемента системы, на который проектируется звезда, с другим ее элементом, который не подвергается этому действию. Поэтому на них не влияют изменения атмосферных условий и сравнительно мало влияют процессы внутри башни, которые очень мешали работе с крутильными весами. Это обстоятельство и их портативность позволяют вести наблюдения в любом фокусе телескопа. Очень важно поэтому исследовать пригодность самых разнообразных физических систем. В лаборатории была исследована еще система, основанная на изменении упругих свойств пластинки кварца по изменению частоты ее собственных колебаний. Сравнивались частоты колебаний двух таких пластинок, заключенных в отдельные футляры с откаченным воздухом, собственная частота которых составляла около 11 МГц. Оказалось, что под действием процессов, излучающих время, частота колебаний увеличивается на величину порядка 1 Гц, что составляет 10^{-7} относительного изменения. Однако эта система оказалась очень нестабильной, и не удалось добиться возможности ее практического применения.

Время не распространяется, поэтому не переносит импульса, но может передать две противоположно направленные силы и момент вращения. В любой системе координат время появляется сразу во всей Вселенной. Поэтому действие времени осуществляется всюду в тот же момент. При этом ничто не движется, и, следовательно, нет противоречия со специальным принципом относительности. Закон отражения не зависит от скорости, поэтому он может выполняться и в этом предельном случае. Но преломление в среде зависит от скорости, и его не должно быть при действии через время. Поэтому при наблюдениях посредством времени нельзя пользоваться рефрактором.

На принимающую систему должно действовать не изображение звезды, а то место на небе, где звезда находится сейчас, в момент наблюдения. Это истинное положение звезды может быть найдено вычитанием из видимого положения рефракции R, аберрации света из-за движения Земли со скоростью $V_{\oplus}$ в направлении на звезду и углового расстояния α, которое прошла звезда за время, необходимое свету, чтобы прийти к наблюдателю. Следовательно, надо вычитать угловую величину

$$R + V_{\oplus}/C_1 + \alpha; \quad \alpha = V_T t/r = V_T/C_1, \qquad (7)$$

где V_T обозначает тангенциальную скорость звезды.



Фиг. 7. Наблюдения действия Проциона на крутильные весы при смещении его изображения относительно щели в экране, закрывавшем весы.
Указаны угловые расстояния щели от изображения звезды.

В Пулкове на телескопе РМ-700 была сделана попытка проверить это заключение путем наблюдения действия Проциона на крутильные весы. Перед весами была поставлена щель, вырезанная в толстой дюралевой пластинке, ширина которой в масштабе фокальной плоскости телескопа составляла 20″. Процион наблюдался в меридиане: щель стояла горизонтально и последовательно смещалась к югу от видимого изображения звезды. На фиг. 7 показаны результаты этих наблюдений. Номер столбца О означает, что в это время было снято действие Проциона на весы. На фиг. 7 указаны угловые расстояния щели от изображения звезды в моменты наблюдений. Действие Проциона сказалось только в столбце 4, когда его изображение располагалось к северу от щели на расстоянии 75″. Это положение хорошо соответствует рефракции, которая из-за низкого положения Проциона была очень значительной и составляла 80″. Что касается смещения α в выражении (7), то для Проциона оно происходит по параллели и, следовательно, было вдоль щели. Аберрация же в момент наблюдений (15 марта) была очень незначительной. Чтобы обнаружить наиболее интересное смещение (α), надо щель при кульминации Проциона располагать вертикально. Такое расположение выгодно еще и тем, что полностью исключается рефракция. К сожалению, из-за плохой погоды и других обстоятельств эти наблюдения осуществить не удалось. Таким образом, выполненные наблюдения доказали лишь отсутствие рефракции при действии времени.

Мгновенная передача действия возможна только через время, и доказать это могут только астрономические наблюдения. Поэтому очень важен тщательно выполненный эксперимент, который докажет существование смещения α. Это будет Experimentum crucis для всей системы взглядов, изложенных в настоящей работе. В случае удачи появится возможность непосредственного определения тангенциальной скорости звезды V_T. Вместе с радиальной скоростью V_R, определяемой по принципу Допплера, это даст важную для звездной динамики полную скорость звезды, а для астрономии возможность определения параллакса π по известному собственному движению μ:

$$\pi = 4{,}74\mu/V_T. \qquad (8)$$

Проведенные исследования показывают, что кроме обычного взаимодействия, когда одно тело действует на другое через пространство с помощью силовых полей, в Природе осуществляется еще и другая возможность передачи действий: процесс может действовать на тело или на другой процесс через время с помощью его физических свойств. Явления первого типа дают возможность определять состояние излучаемого тела в момент наблюдений. Действия же через время позволяют изучать происходящие процессы, т. е. определять производные по времени параметров, характеризующих состояние тела. Разумеется, так можно исследовать только необратимые процессы, потому что только в них, через причинность, активно участвует время. Получается возможность по одному наблюдению судить о том, что произойдет с телом в следующие моменты времени. В астрономии можно определять направление и темп эволюции космических тел не путем очень сомнительных умозаключений, а прямым выводом из соответствующих наблюдений. Примером могут служить выполненные наблюдения лунных затмений, показавшие, в какое время происходил рост температуры ее поверхности и степень этого роста.

Лабораторные исследования показали возможность действия времени на вещество и этим подтвердили вывод о том, что энергия звезд поддерживается текущим временем. Время не дает звездам погаснуть, т. е. прийти в равновесие с окружающим их пространством. Смотря на звездное небо, мы видим не атомные топки, где действуют разрушительные силы Природы, а видим проявление жизненных творческих сил, которые приносит в Мир текущее время. Их действие можно наблюдать по тем изменениям времени, которые происходят в космических телах. Выполненные наблюдения показали, что эта возможность действительно существует и что этим путем можно начать обшир-

ные исследования по совершенно новой для астрономии программе. Ее осуществление должно привести к еще более глубокому познанию сущности Мира.

В заключение автор считает своим приятным долгом принести глубокую признательность А. Н. Абраменко, оказавшему содействие наблюдениям на телескопе МТМ-500 и принимавшему в них живейшее участие, а также всем лицам, относившимся с сочувствием и интересом к данной работе.

ДИСКУССИЯ ПО ДОКЛАДУ Н. А. КОЗЫРЕВА

Э. Е. Хачикян. Солнце только поглощает или только излучает, или оно может одновременно и поглощать, и излучать?

Н. А. Козырев. Солнце поглощает как раз в затмении. А звезды вообще действительно перерабатывают время в энергию, и некоторый ее избыток может выбрасываться. Солнце, например, чтобы поддерживать свою энергию, должно взять энергию из времени.

Э. Е. Хачикян. Чтобы получить Ваши опыты, Солнце должно еще излучать?

Н. А. Козырев. Может быть, имеет место и излучение, и поглощение.

Э. Е. Хачикян. Солнце больше излучает или больше поглощает?

Н. А. Козырев. В такой ситуации, в которой существует сейчас Солнце, весьма возможно, что оно больше излучает, чем поглощает.

Э. Е. Хачикян. Если оно больше излучает, значит, оно должно быстрее угаснуть согласно Вашим представлениям.

Н. А. Козырев. Нет. Мы не знаем, как работает механизм.

В. Г. Горбацкий. В начале Вашего доклада Вы указали скорость распространения времени и связали ее с постоянной тонкой структуры, а в конце Вы сказали, что свет приближается мгновенно. Правильно я Вас понял?

Н. А. Козырев. Величина C_2=2200 км/с является псевдоскалярной величиной, характеризующей поворот времени в системе. Это скорость не распространения, а скорость поворота, причем причинно-следственной связи, когда у Вас имеется излучающее элементарное причинно-следственное звено. Вот в этом звене причины сводятся к тому, что происходит поворот времени. Так что действительно время у нас не должно распространяться, время у нас появляется. С точки зрения времени вся Вселенная имеет размер точки.

Г. П. Алоджанц. Я хотел у Вас спросить, как Вы понимаете поток причинности?

Н. А. Козырев. Все, что связано с геометрическими свойствами времени, преобразованиями Лоренца, все, что отсюда вытекает, я это совершенно не затрагиваю. Вся геометрия времени, пространства — это дело механики и теории относительности. Здесь я считаю, что секунда, которой мы занимаемся в теоретической физике, в теории относительности, вот эта секунда, ее, так сказать, величина, меняется по этим законам, но секунда может иметь какую-то свою окраску. Мне представляется так, что секунда может иметь свои свойства, она может быть плотная, она может быть направленная, т. е. это есть то, что называется физическим свойством. Вот об этих физических свойствах я только и говорю, что эти физические свойства играют роль, а что касается геометрии, то смотрите, что пишет по этому поводу теория относительности.

ВРЕМЯ И ЖИЗНЬ

В докладе рассматриваются следующие положения теории активных свойств времени, на основе которых может быть дано объяснение ряду наблюдаемых при изучении биологических полей явлений.

1. Время представляет собой явление природы с разнообразными свойствами, которые могут быть изучены лабораторными опытами и астрономическими наблюдениями.

2. Время, кроме пассивного свойства «длительности», измеряемого часами, обладает еще активными свойствами, благодаря которым время может воздействовать на ход событий.

3. Активные или физические свойства времени могут противодействовать обычному ходу процессов, ведущему к разрушению организованности, и поэтому быть началом, противодействующим смерти систем. Поэтому свойства времени и должны иметь особенное значение в биологических процессах.

4. Активные свойства времени — его течение и плотность — связывают весь Мир в единое целое и могут осуществлять воздействие друг на друга явлений, между которыми нет прямых материальных связей, что может объяснить факты взаимодействия биологических объектов, находящихся на большом удалении или изолированных друг от друга.

Козырев Н. А. Время и жизнь//Тезисы докладов VI Украинской республиканской конференции по бионике. Ужгород, 1981. С. 145—146.

О ВОЗДЕЙСТВИИ ВРЕМЕНИ НА ВЕЩЕСТВО

Любая физическая система, и в частности вещество, с течением времени теряет свою первоначальную организованность, разрушается и стареет. В соответствии со вторым началом термодинамики происходит переход в более вероятное состояние. Это обстоятельство обусловлено свойствами причинности, согласно которым причина порождает многочисленные следствия, и поэтому в общей совокупности событий получается, как писал Ньютон: «Природа проста и не роскошествует излишними причинами». Рост числа разнообразных следствий приводит к реализации все большего числа возможных состояний систем. Происходит потеря организованности, внесенной в систему некоторой причиной. Течение же этого процесса должно совпадать с направленностью времени, поскольку следствия находятся в будущем по отношению к причине. Если время дополняет трехмерное пространство до четырехмерного многообразия, то течение времени настоящим моментом лишь обнаруживает события, уже существующие в будущем, при сохранении всего, что отодвигается в прошлое. В таком четырехмерном мире все, что должно быть в соответствии с законами Природы, уже существует реально, подобно тому как в трехмерном пространстве вывод о том, что нечто должно быть в заданном месте, означает, что оно и есть там на самом деле. Поэтому все события в четырехмерном мире должны уже существовать в соответствии со вторым началом термодинамики и выглядеть веером, расходящимся в сторону будущего, т. е. положительного направления оси времени. Однако такая картина фатального детерминизма противоречит свободе выбора и всему опыту нашей жизни. Скорее всего, это означает, что чисто геометрическое представление о времени является недопустимо упрощенным. Действительно, для выводов специальной теории относительности необходимо считать, что ось времени iCt Мира Минковского равноценна трем пространственным координатным осям. Пространство же может обладать не только геометрическими свойствами, т. е. быть пустым, но у него могут быть и физические свойства, которые мы называем силовыми полями. Поэтому совершенно естественно полагать, что и ось собственного времени iCt не всегда является пустой и что у времени могут быть и физические свойства. Благодаря этим свойствам

Козырев Н. А. О воздействии времени на вещество//Физические аспекты современной астрономии/АН СССР. Л., 1985. С. 82—91 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 11). С точностью до незначительных отличий совпадает с более ранней статьей: Козырев Н. А. Время как физическое явление//Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Сборник научных трудов. Рига, 1982. С. 59—72.

время может воздействовать на физические системы, на вещество и становиться активным участником Мироздания. Это представление о времени как о явлении Природы соответствует и нашему интуитивному восприятию Мира. Активный контакт времени со всем, что происходит в Мире, должен приводить к взаимодействию, к возможности воздействий на свойства времени со стороны происходящих процессов. Но тогда для определения будущего необходима фактическая реализация всех предшествующих моментов. Без этого будет существовать неопределенность будущего в отличие от Мира с пустым, не взаимодействующим временем, который можно заранее построить. Поэтому активные свойства времени могут освобождать Мир от жесткого детерминизма Лапласа.

Степень активности времени может быть названа его плотностью. Уже из самых общих соображений можно заключить, что существование плотности времени должно вносить в систему организованность, т. е. вопреки обычному ходу развития, уменьшать ее энтропию. Действительно, когда весь Мир перемещается по оси времени от настоящего к будущему, само это будущее, если оно физически реально, будет идти ему навстречу и будет, стягивая многие следствия к одной причине, создавать в системе тенденцию уменьшения ее энтропии. Таким образом, время благодаря своим физическим свойствам может вносить в Мир жизненное начало, препятствовать наступлению его тепловой смерти и обеспечивать существующую в нем гармонию жизни и смерти.

Итак, изменение состояния и свойств вещества может происходить не только со временем, но и под действием времени на него. Первое обстоятельство соответствует законам, действующим в пассивном геометрическом времени, а второе обусловлено активными, физическими его свойствами. Из-за взаимодействий с происходящими в Природе процессами должны меняться активные свойства времени, а это, в свою очередь, будет влиять на ход процессов и на свойства вещества. Таким образом, вещество может быть детектором, обнаруживающим изменения плотности времени. В пространстве плотность времени не равномерна, а зависит от места, где происходят процессы. Следует ожидать, что некоторые процессы ослабляют плотность времени и его поглощают, другие же, наоборот — увеличивают его плотность и, следовательно, излучают время. Термины «излучение» и «поглощение» оправданы характером передачи воздействий на вещество — детектор. Так, действие повышенной плотности времени ослабляется по закону обратных квадратов расстояния, экранируется твердым веществом при толщине порядка сантиметров и отражается зеркалом согласно обычному закону оптики. Уменьшение же плотности времени около соответствующего процесса вызывается втягиванием туда времени из окружающей обстановки. Действие этого явления

на детектор экранируется, но не отражается зеркалом. Опыт показал, что процессы, вызывающие рост энтропии, излучают время. При этом у находящегося вблизи вещества упорядочивается его структура. Надо полагать, что потерянная из-за идущего процесса организованность системы уносится временем. Это означает, что время несет информацию о событиях, которая может быть передана другой системе. Получается почти прямое доказательство сделанного выше вывода о том, что действие плотности времени уменьшает энтропию и противодействует обычному ходу событий.

Под действием времени могут изменяться самые разнообразные свойства веществ. Однако для исследований активных свойств времени и сущности его действий на вещества, следует, конечно, остановиться на тех свойствах веществ, изменения которых могут быть зарегистрированы легко и точно. В этом смысле большое преимущество имеют измерения проводимости электрического тока резистора, введенного в мост Уитстона и находящегося вблизи некоторого выбранного процесса. Например, для увеличения плотности времени можно осуществить процесс испарения летучей жидкости, а для поглощения времени — процесс охлаждения разогретого тела. Изменение сопротивления проводника из-за этих процессов действительно происходит с противоположными знаками. У проводника с положительным температурным коэффициентом увеличение плотности времени ведет к уменьшению его сопротивления, как это и должно быть при повышении организованности структуры. При отрицательном температурном коэффициенте эффект получается противоположного знака и опять в сторону изменений, происходящих с падением температуры. Такое соответствие падению температуры должно наблюдаться и при изменении других свойств вещества, поскольку с понижением температуры уменьшается беспорядок в его структуре. У резистора, находящегося рядом с обычным лабораторным процессом, таким, как испарение ацетона на вате, растворение сахара в воде и т. п., наблюдалось относительное изменение сопротивления в шестом или пятом знаке или даже в четвертом в случае резистора с особо высоким температурным коэффициентом.

Возможность отражать зеркалом действие времени позволила наблюдать влияние не только лабораторных процессов, но посредством телескопа-рефлектора и изменение сопротивления резистора из-за процессов, происходящих в космических телах. Появилась возможность изучать Вселенную не только, как обычно, посредством спектра электромагнитных колебаний, но и особым, ранее не испытанным методом, через посредство физических свойств времени. Вместе с В. В. Насоновым такие наблюдения были проведены нами на рефлекторах Крымской Астрофизической обсерватории [1]. Излучение времени по его действию на резистор наблюдалось от планет, звезд, галактик

и других космических объектов. Была доказана мгновенность передачи этих воздействий и существование Мира Минковского как реальности, а не как математической схемы [2].

При исследованиях влияния времени на электропроводность резистора в качестве стандартного процесса, контролирующего чувствительность системы, применялось испарение ацетона на расстоянии 10—15 см от изучаемого резистора. Однако процесс испарения может оказать влияние на резистор не только повышением плотности времени, но и самым тривиальным образом благодаря понижению температуры, происходящему при испарении. Чтобы учесть этот эффект охлаждения, была сделана попытка прямых измерений температуры в окрестностях испаряющегося ацетона посредством ртутного термометра Бекмана с ценой деления шкалы в 0°,01. Первые опыты без тепловой защиты показали падение температуры на несколько сотых градуса, достаточное, чтобы вызвать почти все наблюдавшееся изменение электропроводности резистора. Однако и при теплоизоляции резистора термометр продолжал показывать практически то же падение температуры. Это удивительное на первый взгляд обстоятельство показало, что термометр реагировал не на изменение температуры, а на излучение времени при испарении ацетона, которое, внося организацию, вызывало сжатие ртути. Дальнейшие опыты, проведенные с большой осторожностью, подтвердили это заключение. Картонная трубка, в которую входила часть термометра с резервуаром ртути, была окружена ватой и опущена в стеклянную колбу. Пробный процесс осуществлялся вблизи колбы, а отсчет высоты ртути в капилляре определялся по температурной шкале из другой комнаты через закрытое окно. Высота ртути уменьшалась при растворении сахара в воде устоявшейся температуры и увеличивалась, когда вблизи термометра помещалась сжатая заранее пружина. Значит в первом процессе действительно излучалось время, а во втором случае оно поглощалось перестройкой вещества пружины при ее деформации. Результаты этих опытов показаны на рис. 1, из которого видно, что после окончания процессов происходит очень замедленное возвращение ртути к ее начальному состоянию. Пользуясь значением коэффициента объемного расширения ртути, температурную шкалу рисунка легко преобразовать в шкалу относительного сжатия из расчета, что 0°,01 соответствует $1{,}8 \cdot 10^{-6}$ этой шкалы. Замечательно, что относительные изменения объема и плотности ртути оказались того же порядка, что и относительные изменения электропроводности резисторов из обычного металла.

Термометр Бекмана должен реагировать и на астрономические явления, хотя, конечно, нет никакой возможности применить его в башне телескопа. Однако можно надеяться, что в закрытом помещении с постоянной температурой удастся заметить его реакцию на такие близкие к Земле и интенсивные

явления, как, например, лунное затмение. Во время затмения поверхность Луны за короткое время — порядка сотни минут — охлаждается от +100° до —120° и вновь разогревается до прежней температуры. Первый процесс сопровождается поглощением времени, которое в первую очередь будет втягиваться в него из того, что есть вблизи на Луне. Поэтому на Земле этот процесс не должен оказывать заметного действия. Второй же

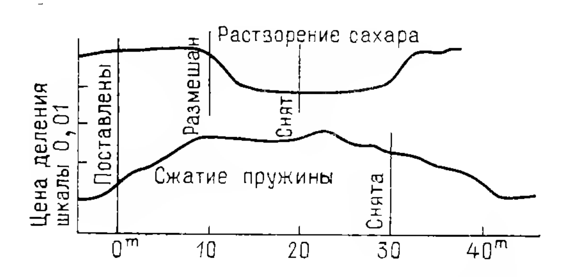


Рис. 1. Изменение показаний термометра Бекмана при растворении сахара и в присутствии сжатой пружины.

процесс разогрева поверхности сопровождается излучением времени, которое может быть зарегистрировано на Земле системой достаточной чувствительности. Во время частного, но с большой фазой (Ф=0,86) лунного затмения с 13 на 14 марта 1979 г. такие наблюдения были проведены с помощью термометра Бекмана и механического прибора, представляющего собой диск из плотной бумаги, подвешенный на тонкой кварцевой нити. При испарении ацетона над точкой подвеса получался поворот диска на несколько градусов. Отражение зеркалом этого же процесса приводило к повороту диска в противоположную сторону. Ясного понимания действия этого прибора не удалось достигнуть. Очевидно только, что поворот диска вызывается парой сил, которую несет и передает время. Вероятно, это одна из тех возможностей, благодаря которым время вносит организованность в структуру вещества.

Во время затмения диск и термометр находились в достаточно стабильных условиях полуподвального помещения. Отсчеты поворота диска и показаний термометра производились через пять, десять минут. В верхней части рис. 2 приведены углы положения марки, нанесенной на диск, а внизу — отсчеты термометра, исправленные за существующий все же их небольшой дрейф. Построенные графики показывают, что изменение отсчетов появилось действительно только после наибольшей фазы, когда началось разогревание участков лунной поверхности, освобожденных от земной тени. Второе изменение хода показаний получилось при выходе Луны из полутени, когда на

лунной поверхности стало восстанавливаться нормальное солнечное освещение. Уменьшение высоты ртути в капилляре термометра и поворот диска в сторону, соответствующую действию испарения ацетона, показывают, что при разогреве лунной поверхности в действительности происходило излучение времени.

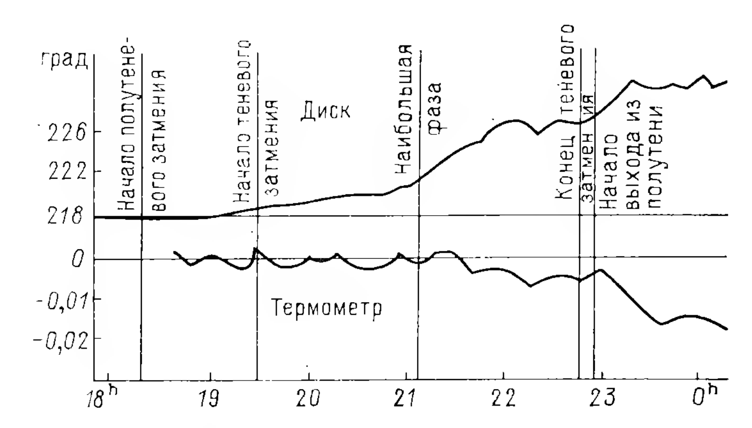


Рис. 2. Частное лунное затмение с 13 на 14 марта 1979 года.

Вверху: кривая поворота диска. Внизу: изменение показаний термометра Бекмана. Время — всемирное.

В результате исследований, проведенных с термометром Бекмана, приходится заключить, что ртутный термометр принципиально не может быть прибором для точного измерения температур. Надежным для таких измерений должен быть газовый термометр, поскольку газ не имеет структуры, которая могла бы перестроиться под воздействием плотности времени. Поэтому газ поглотить время не может, что и было подтверждено возможностью астрономических наблюдений через толщу земной атмосферы.

Следует ожидать, что во время лунных затмений будут изменяться и другие свойства вещества, как, например, его электропроводность. Если резисторы моста имеют одинаковые свойства, то изменение плотности времени скажется на них одинаковым образом и равновесие моста не нарушится. Чтобы обнаружить это изменение, резисторы моста должны сильно различаться по свойствам, но с такой системой трудно работать из-за реакции ее на все происходящие вокруг процессы. Поэтому лучше всего наблюдения проводить с однородным мостом, но посредством телескопа-рефлектора, проектирующего на выделенный рабочий резистор затмевающийся участок лунной поверхности. Такие наблюдения были нами проведены на телескопе МТМ-500 Крымской Астрофизической обсерватории во время лунного затмения 13 мая 1976 г. Это затмение было

совсем малой фазы (Ф=0,13), и тень земли закрывала Луну только к югу от кратера Тихо. Предполагалось наблюдать область Луны вблизи центрального меридиана, посредине между кратером Тихо и южным краем Луны. Чтобы исключить рефракцию, пришлось проектировать на рабочий резистор другую область Луны, сдвинутую на 2′ к югу, у самого края Луны. Результаты этих наблюдений показаны на рис. 3. Наступление

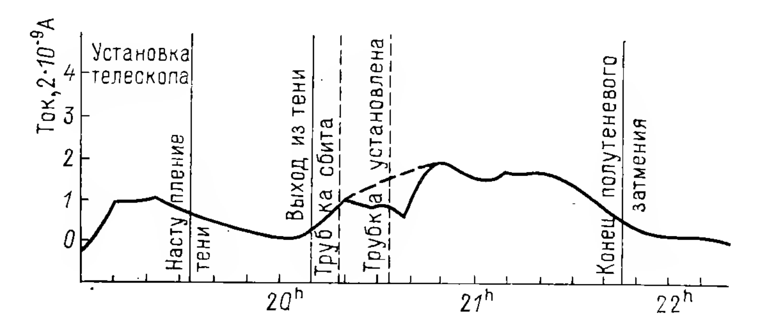


Рис. 3. Лунное затмение 13 мая 1976 года.

Кривая изменений электропроводности резистора, на который проектировалась область Луны к югу от кратера Тихо. По оси ординат отложены отсчеты гальванометра (1 дел. = 2 · 10^{-9} А). Время — всемирное.

тени на выбранную область не дало заметных изменений в показаниях гальванометра в системе моста. Но при выходе ее из тени отсчеты сразу стали возрастать в сторону, соответствующую излучению времени, т. е. уменьшения сопротивления резистора с положительным температурным коэффициентом. Однако через некоторое время они стали убывать из-за того, что трубка, в которой был заключен резистор, оказалась сбитой, и на него стала проектироваться другая область Луны, не бывшая в земной тени. После восстановления прежнего положения трубки отсчеты быстро возрастали, а потом стали медленно убывать в соответствии с уменьшением скорости разогрева этой части лунной поверхности.

Увеличение плотности времени, которое происходит во второй половине лунного затмения, можно в слабой степени наблюдать и вблизи терминатора при нарастающей фазе Луны. Далекие же тела солнечной системы мы наблюдаем практически только в полной фазе — в направлении солнечных лучей. Поэтому при любом вращении тела оно всегда будет повернуто к нам стороной, разогреваемой Солнцем. Этим объясняется показавшееся сначала удивительным то обстоятельство, что даже совсем малые, заведомо не активные астрономические объекты излучают время. На 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории наблюдалось действие на резистор не только от спутников больших планет, но даже от кольца Сатурна из-за

разогрева обращенной к нам стороны составляющих его метеоритных тел.

Излучение времени, наблюдающееся от многих звезд, несомненно вызвано внутренними процессами, происходящими на этих телах. Поэтому надо полагать, что и Солнце с его бурными процессами помимо электромагнитной энергии излучает еще и время. Действительно, перекрыв солнечный свет далеко отстоящим тонким экраном, можно убедиться, что и в этом случае Солнце оказывает значительное влияние на резистор или другой детектор. Поэтому во время солнечных затмений, когда Луна экранирует Солнце, должна наблюдаться некоторая потеря организованности вещества, внесенная в него действием Солнца. В частности, должен уменьшаться коэффициент упругости подвеса крутильного маятника. Вероятно, этим объясняется наблюдавшееся Сакселем и Алленом удлинение периода колебаний такого маятника во время полного солнечного затмения 1970 г. [3]. Относительное удлинение периода получилось у них в четвертом знаке. Во время солнечного затмения 1976 г. эти наблюдения были повторены московскими метрологами (В. Казачок, О. Хаврошкин и В. Цыплаков), получившими тот же результат [4]. Наши наблюдения над поведением рычажных весов в вибрационном режиме тоже показали уменьшение плотности времени во время пяти частных затмений Солнца: 1961, 66, 71, 75 и 76 гг. [5]. Казалось, что такие явления должны происходить и тогда, когда выпуклость Земли экранирует Солнце, т. е. на его закате и восходе. Однако они, как показывают наблюдения, перекрываются действием на плотность времени со стороны метеорологических и других геофизических процессов, сопутствующих постепенному ослаблению и исчезновению радиации Солнца. Остается только безусловно существующий суточный ход изменения свойств вещества детектора и поведения приборов.

Становится несомненным, что Солнце воздействует на Землю не только лучистой энергией, но и исходящим от него усилением физических свойств времени. Это воздействие Солнца через время должно иметь особенное значение в жизни организмов и всей биосферы, поскольку оно несет начало, поддерживающее жизнь. Существование этих возможностей, идущих от Солнца, может объяснить в гелиобиофизике явления, казавшиеся непонятными, и удивительные связи их с тем, что происходит на Солнце.

Совокупность проведенных исследований показывает, что состояние вещества зависит не только от воздействия близких процессов, но и от изменения общего фона плотности времени, которое происходит от широкого круга геофизических процессов и многих космических явлений. Влияние геофизических факторов должно приводить к сезонному и суточному ходу изменений состояния вещества. Дрейф приборов, показывающих

суточные изменения, обычно останавливается около полуночи, а затем меняет свое направление. В сезонном же ходе происходит уменьшение плотности времени весной и летом и ее увеличение осенью и зимой. Скорее всего, это связано с поглощением времени жизнедеятельностью растений и отдачей его при их увядании. Указанные обстоятельства наблюдались многими авторами в самых разнообразных исследованиях. Интересно, например, сообщение А. Шаповалова, биолога из Днепропетровска, о его трехлетних наблюдениях темнового тока фотоумножителя [6]. Начиная с конца мая и до осени темновой ток возрастал почти на два порядка, что указывает на ослабление препятствий для вылета электронов и, следовательно, на ослабление организованности вещества фотокатода. Имеются многочисленные указания и на сезонные изменения хода химических процессов. Так, например, реакция полимеризации весной осуществляется труднее, чем осенью и зимой. Такие изменения должны наблюдаться и в состоянии вещества. Весьма возможно, что наблюдения В. Жвирблиса над изменениями углов минимального и максимального пропускания света скрещенными призмами Николя [7] могут быть объяснены перестройкой кристаллической структуры этих призм. Связь этих и других подобных явлений с действием времени легко установить, осуществляя вблизи системы какой-нибудь необратимый процесс, например испарение летучей жидкости, повышающий плотность времени. Именно этим путем нам удалось доказать, что наблюдавшиеся изменения в поведении механических систем — рычажных весов и маятника в вибрационном режиме — вызывалось действием происходящих в природе процессов, изменяющих общий фон плотности времени [5].

Результаты опытов показывают, что организующее начало, которое вносит активное свойство времени, оказывает на системы влияние очень малое в сравнении с обычным разрушающим ходом их развития. Поэтому не удивительно, что это жизненное начало было пропущено в системе наших научных знаний. Но будучи малым, оно в природе рассеяно всюду, и поэтому необходима только возможность его накопления, подобная той, при которой малые капли воды, падающие на обширные области, поддерживают непрерывное течение могучих речных потоков. Такая возможность осуществляется в организмах, поскольку вся жизнедеятельность противодействует обычному ходу разрушения систем. Способность организмов сохранять и накапливать это противодействие, вероятно, и определяет великую роль биосферы в жизни Земли. Но даже допустив, что жизнь распространена в Космосе как одно из присущих ему свойств, она и тогда не смогла бы иметь решающего значения. Таким собирающим жизненное начало резервуаром могут быть космические тела, и в первую очередь звезды. Огромные запасы энергии в звездах вытекают из них лишь

в очень слабой степени через излучение сравнительно холодных наружных слоев. Энергия внутри звезд сохраняется настолько хорошо, что при отсутствии пополнения вещество Солнца остывало бы всего на одну треть градуса в год. Эту малую потерю может компенсировать действие времени, которое там накапливается и, будучи преобразованным в лучистую энергию, может стать мощным потоком жизненных возможностей Мира. Для Земли же это творческое начало, которое несет время, приходит потоком лучистой энергии Солнца. Таким образом, Солнце и звезды необходимы для осуществления гармонии жизни и смерти, и в этом, вероятно, главное значение звезд во Вселенной. Глубокий смысл приобретают слова Платона в «Тимее»: «Эти звезды назначены участвовать в устроении времени». Но к этому надо добавить, что и время участвует в устроении звезд.

Указатель литературы

1. Козырев Н. А., Насонов В. В. Новый метод определения тригонометрических параллаксов на основе измерения разности между истинным и видимым положением звезды//Астрометрия и небесная механика. М.; Л., 1978. С. 168—179 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 7).
2. Козырев Н. А. Астрономическое доказательство реальности четырехмерной геометрии Минковского//Проявление космических факторов на Земле и звездах. М.; Л., 1980. С. 85—93 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 9).
3. Saxl E. J., Allen M. 1970 Solar Eclipse as "Seen" by a Torsion Pendulum//Physical Review D. 1971. Vol. 3. N 4. P. 823—825.
4. Казачок В. С., Хаврошкин О. Б., Цыплаков В. В. Поведение атомного и механического осцилляторов во время солнечного затмения//Астрон. циркуляр. 1977. № 943. С. 4—6.
5.* Козырев Н. А. Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени//Вспыхивающие звезды: Труды симпозиума, приуроч. к открытию 2,6-м телескопа Бюраканской астрофиз. обсерв., Бюракан, 5—8 октября 1976 года. Ереван, 1977. С. 209—227.
6. Шаповалов А. Прибор «сходил с ума...»//Техника — молодежи. 1973. № 6. С. 28—29.
7. Жвирблис В. Что нарушает симметрию?//Химия и жизнь. 1977. № 12. С. 42—49.

О ВОЗМОЖНОСТИ УМЕНЬШЕНИЯ МАССЫ И ВЕСА ТЕЛ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АКТИВНЫХ СВОЙСТВ ВРЕМЕНИ

Наши многочисленные лабораторные опыты показали, что у времени помимо пассивного свойства длительности существуют еще и активные свойства: направленность хода и плотность, определяющая степень его активности. В результате время не только открывает возможности для развития процессов, но как некоторая физическая реальность может воздействовать на них и на состояние вещества. При этом происходит взаимодействие, ведущее к тому, что и сама плотность времени будет изменяться под воздействием происходящих вблизи процессов. Через это изменение свойств времени может осуществляться связь между процессами. Время непрерывным потоком входит в наш Мир, и если оно обладает активными физическими свойствами, то будет единственным явлением природы, идущим против хода всех событий. Действительно, к настоящему все приходит от прошлого, и только время входит от будущего в настоящее. Обычный ход процессов ведет к возрастанию энтропии системы. Поэтому обратное действие активных свойств времени должно вносить в Мир жизненное начало, противодействующее обычной тенденции разрушения и смерти. Опыт показывает, что вблизи процессов, повышающих плотность времени, действительно возрастает организованность вещества. Но для такой перестройки требуются механические действия. Поэтому должно наблюдаться не только физическое, но и механическое изменение в веществе как в сложном ансамбле, подчиняющемся закономерностям статистической механики, когда под действием некоторой причины в нем происходят необратимые процессы возрастания энтропии.

Чтобы выяснить сущность этих механических изменений, рассмотрим простейшую схему с необратимыми явлениями, которые должны возникнуть при абсолютно неупругом соударении тел.

Допустим, что соударяются два тела с массами m_1 и m_2, которые движутся со скоростями v_1 и v_2. Будем пользоваться инерциальной системой координат, относительно которой одно из этих тел неподвижно. Пусть это будет второе тело, и, значит, $v_2 = 0$. Тогда до удара общий импульс системы P и ее

Козырев Н. А. О возможности уменьшения массы и веса тел под воздействием активных свойств времени//Еганова И. А. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск, 1984. С. 92—98. Деп. в ВИНИТИ 27.09.84, № 6423—84 Деп.

кинетическая энергия T будут определяться их значениями для первого тела:

$$P_1 = m_1 v_1 \quad \text{и} \quad T_1 = \frac{P_1^2}{2m_1}. \tag{1}$$

После неупругого удара тела приобретают общую скорость. Согласно закону сохранения импульса по-прежнему

$$P = P_1. \tag{2}$$

Кинетическая же энергия объединенных тел T будет иной. Обозначим через M их общую массу. Тогда

$$T = \frac{P^2}{2M}. \tag{3}$$

Отсюда согласно (1) и (2) находим

$$T = \frac{m_1}{M} T_1, \tag{4}$$

значит, $T < T_1$, и, следовательно, неупругий удар возможен только в том случае, когда происходит процесс перестройки структуры тел, поглощающий их механическую энергию. В этом явлении, сочетающем механику с термодинамикой, увеличивается энтропия системы.

Процесс же перестройки внутренней структуры тел должен развиваться не только во времени, но и при активном его участии. При этом будет оставаться в силе закон сохранения импульса, так как он основан на самых общих свойствах причинности, из которых следует, что при любых изменениях причинных связей должно соблюдаться равенство действия и противодействия, а значит, и компенсация всех внутренних сил системы. Иными словами, время не несет импульса и не может нарушать полного импульса системы. Поэтому, какова бы ни была роль времени, кинетическая энергия после удара будет определяться тем же выражением (4), как и в классическом случае обычного, не активного времени, поскольку его вывод основан только на законе сохранения импульса.

Активность времени препятствует диссипации энергии и росту энтропии. Поэтому механическая, т. е. кинетическая, энергия системы должна оказаться больше того значения, которое следует из формулы (4) при $M = (m_1 + m_2)$. Но, как следует из этой формулы, увеличение T возможно только в том случае, если в процессе объединения тел происходит уменьшение их общей массы:

$$M < (m_1 + m_2). \tag{5}$$

Этот вывод с неизбежностью вытекает из активных свойств времени и закона сохранения импульса. Если он будет подтвержден опытом, то окажется вторым после астрономических наблюдений мгновенности воздействий, решающим и особенно наглядным доказательством существования у времени активных свойств.

Разумеется, уменьшение массы происходит не за счет уменьшения количества вещества, а из-за уменьшения инертной массы, т. е. коэффициента при ускорении во втором законе Ньютона. Время входит в этот закон, и поэтому величина коэффициента может зависеть от его свойств. Сейчас важно отметить только эту принципиальную возможность, и если опыты ее подтвердят, то на их основе можно будет исследовать и механизм явления.

Согласно принципу эквивалентности Эйнштейна гравитационная и инертная массы должны быть тождественны друг другу. Поэтому при упругом ударе должно происходить и уменьшение веса Q в соответствии с выражением

$$Q = Mg.$$

Это заключение позволяет осуществить простую экспериментальную проверку сравнением веса тела до и после удара. Следует еще отметить, что из-за уменьшения веса тела, т. е. действия Земли на него, не нарушается сохранение импульса, поскольку при этом на ту же величину уменьшается действие тела на Землю.

Уже первые опыты показали, что при ударе тел с необратимой деформацией действительно происходит уменьшение их веса. На аналитических весах с ценой деления 1,4 мг производилось взвешивание тел весом до 200 г — предела нормальной работы этих весов. Для контроля и взвешивания тяжелых тел до 1 кг применялись еще и технические весы первого класса с ценой деления, равной 10 мг. При этих опытах оказалось, что уменьшение веса не исчезает сразу по окончании процесса соударения, а остается, убывая постепенно со временем релаксации порядка 15—20 мин. Это чрезвычайно важное обстоятельство существенно упрощает опыты: остается достаточно времени для тщательного взвешивания, и получается возможность наблюдать постепенное восстановление веса.

В дальнейших опытах взвешивалось жесткое упругое тело (шарикоподшипник) после удара о неупругую плиту (свинец) и, наоборот, взвешивался свинец после удара о жесткое основание (каменный пол). Затем были проведены опыты взвешивания деформируемой коробки после многих резких сотрясений находившихся в ней жестких тел и, наоборот, взвешивание свинцовой дроби после ударов в жесткой коробке. Определялся вес коробки со всем, что в ней было, а также раздельно: вес коробки и вес ее содержимого. Эти опыты показали, что облегчается только то тело, в котором происходит процесс необратимой деформации. Такой результат и следовало ожидать из

общих теоретических соображений, согласно которым лишь в необратимых процессах обнаруживается отличие причин от следствий и, значит, течение времени с его активными свойствами.

На рис. 1 в качестве типичного примера показан график облегчения веса жестяной коробки весом 108 г после многократных сотрясений находившихся в ней небольших стальных ша-

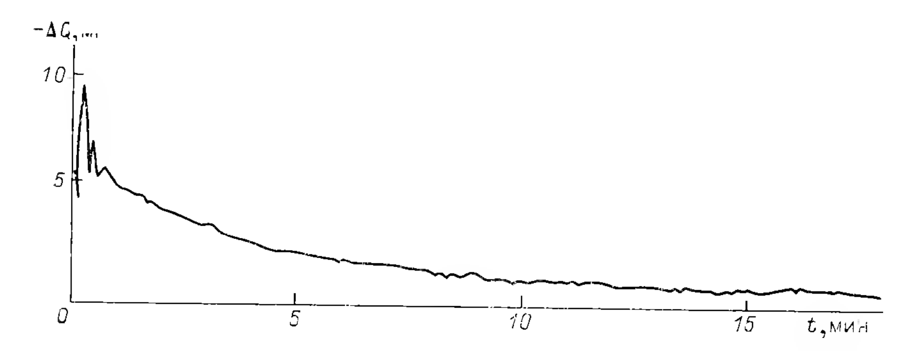


Рис. 1. Уменьшение веса тела в результате неупругого удара и его постепенное восстановление. Технические весы с демпфером.

риков. Уменьшение веса дано на оси ординат в миллиграммах, а по оси абсцисс отложено время взвешивания, отсчитанное от момента, когда происходило воздействие на коробку. Восстановление веса, правда не совсем полное, происходило здесь и в других опытах за время порядка двадцати минут. Остающееся же небольшое отличие от первичного веса исчезает лишь по прошествии десятка часов. Полное восстановление показаний весов дает контроль чистоты эксперимента и показывает реальность наблюдавшейся потери веса.

Задержка облегченного состояния тела вызвана, вероятно, тем, что увеличение веса и инертной массы должно приводить к возрастанию кинетической энергии частиц тела. Следовательно, для возвращения веса к норме требуется затрата дополнительной энергии. Благодаря дисперсии скоростей медленные частицы могут черпать эту энергию взаимодействием с частицами больших скоростей и таким путем восстанавливать свою массу. Происходящая от этого потеря общей тепловой энергии тела приведет к притоку тепла из окружающей обстановки и к постепенному восстановлению массы всех частиц тела. Необходимое для этого время должно быть несколько больше, хотя и сравнимо с временем тепловых релаксаций в теле, что и наблюдалось в действительности. Другая особенность восстановления веса заключается в асимптотическом приближении веса не к своему первоначальному, а к несколько уменьшенному значению, которое сохраняется значительно дольше времени ре-

лаксации. Таким образом, кроме обычного состояния тела возможно еще и другое, почти устойчивое, с меньшей массой и весом. В принципе такая устойчивость возможна, если возвращение к большой массе само представляет собой процесс, который ведет к ее уменьшению.

При соударении облегчение испытывает тело, в котором произошла необратимая деформация, и оно должно быть связано

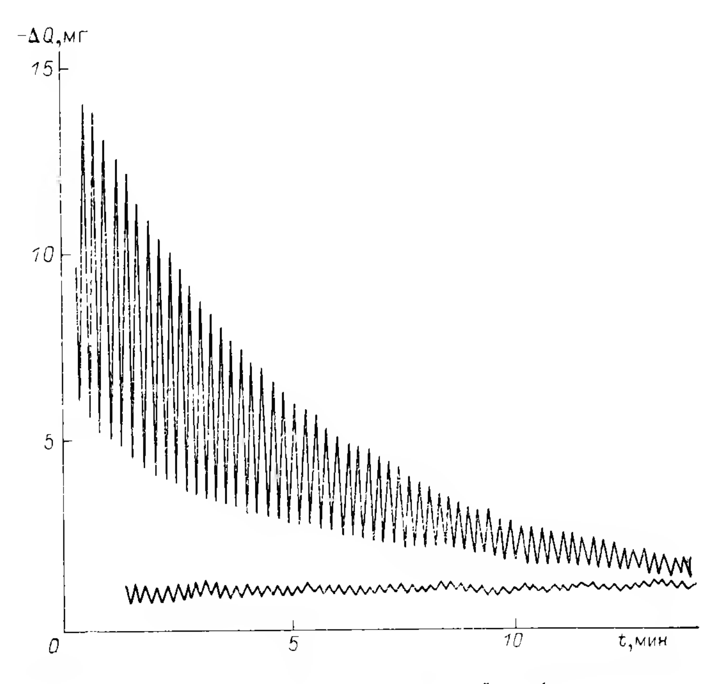


Рис. 2. Уменьшение веса в результате неупругой деформации тела и его восстановление. Весы аналитические.

с физикой самой этой деформации. Поэтому эффект облегчения должен наблюдаться при любой необратимой деформации независимо от ее причины. Это заключение полностью подтверждает опыт. На рис. 2 представлена запись колебаний стрелки аналитических весов после того, как на их чашку был сразу же положен сильно смятый тонкий медный лист весом 40,2 г. Как видно из рисунка, начальный эффект облегчения листа достиг 6—7 мг с постепенным возвращением минут за 15 к его обычному весу, показанному нижней линией записи.

В случае же обратимой деформации изменение веса тела не наблюдается. Так, сжатая резина или сжатая стальная пружина показывают свой обычный вес. Этот результат и следовало ожидать, поскольку при обратимых процессах (как при

упругом ударе) не меняется энтропия системы. Поэтому уменьшение веса тел надо искать при процессах в них с большим возрастанием энтропии. Оказалось, что разогрев тел действительно приводит к очень значительному уменьшению их веса. Изучение этого явления принесло большой материал, позволяющий глубже проникнуть в понимание того, каким образом активные свойства времени вызывают уменьшение массы и веса тела.

ЧЕЛОВЕК И ПРИРОДА

Сейчас весь мир встревожен тем разрушением богатств Природы, которое несут за собой цивилизация и растущий технический прогресс. Собираются специальные совещания по охране Природы, вводятся законы по ограничению ущерба, вызванного деятельностью человека, но все эти меры могут только отсрочить, но не остановить надвигающуюся катастрофу. Это неизбежно даже при самом бережном отношении к Природе. Дело в том, что согласно второму началу термодинамики всякая деятельность ведет к увеличению энтропии, т. е. к увеличению хаоса и беспорядка. Создать для себя комфорт и нужную для этого организацию, т. е. уменьшить энтропию, можно только за счет увеличения энтропии где-нибудь в стороне, и, конечно, это надо делать возможно дальше от нас. Но когда людей становится много, то далекое сейчас от нас оказывается вскорости близким для других и отодвинуть от себя неприятности становится все труднее и труднее.

Сейчас есть еще на Земле прекрасные места, где сохранилась первозданная природа. Но с каждым годом их становится все меньше. Совесть и ответственность перед будущим не позволяют с этим мириться. Ведь не может же человек закрыть глаза на все, что будет, и пользоваться тем, что есть, по принципу: после нас хоть потоп. Становится жаль увядающую по нашей вине Природу и отсюда, вероятно, возникает к ней особая, грустная любовь современного человека и тоска по потерянному раю простой и естественной жизни. Ведь было же время, когда человек жил не в противоречии, а в единстве с Природой! Тогда не было изощренной техники, и человек пользовался ресурсами, которые давала ему Природа. Источники энергии он находил в естественных явлениях Природы или с помощью прирученных им животных. Сейчас для нас таинственным путем он сумел найти с ними общий язык и приручить их. Это была особая, почти забытая нами культура каменного века, когда у человека была несомненная, но непонятная для нас и нашей науки власть над Природой. К этому убеждению приходят этнографы, прожившие много лет среди аборигенов Австралии и среди других примитивных народов. Обряды и другие магические приемы не могли быть простым суеверием. Ведь в трудных условиях простой жизни требуется особо рациональное отношение к действительности, и заблуждения и обман не могли бы сохраняться столетиями. Медицина существовала без знания физиологии и анатомии внутренних органов, но эмпирически была нащупана связь между ними и

Козырев Н. А. Человек и Природа. Публикуется впервые.

были найдены воздействующие на них лекарственные растения. Медицина была искусством с творчеством, присущим каждому искусству. Мы часто сожалеем о том, что теперь наша научно обоснованная медицина перестала быть искусством врачевания и от этого потеряла какие-то очень глубокие возможности воздействий на организм человека. О том, что эти возможности действительно существуют, говорит возрастающий интерес к народному врачеванию, в котором еще сохранились древние знания. Ведь известны достоверные случаи, когда простой и неученый знахарь спасал человека, вылечить которого научная медицина считала категорически невозможным. Можно привести еще много примеров утерянных знаний. Сейчас их сущность нам неизвестна, и поэтому мы третируем их как мистику. Скорей всего, это слабые признаки, позволяющие нам подозревать существование могучего потока возможностей еще не открытых свойств Природы. Это поток творческих возможностей — жизненной силы Вселенной. Он должен существовать, чтобы обеспечить гармонию Мира, в котором есть смерть и разрушение, но должны быть и жизнь, и созидание. Этого-то жизненного начала и нет в наших научных знаниях. Физика, химия и другие точные науки могут строго проследить и предсказать путь гибели подхваченного ветром упавшего с дерева листа и даже написать уравнение его движения, но они бессильны объяснить, как он вырос, как он принял свою форму и свойства. Нельзя ссылаться на то, что у растений есть особые свойства, которых нет в неживой природе. Живые организмы не могут создавать то, чего нет в Природе, они могут только собирать и использовать то, что заложено в общих свойствах Мира. Эти свойства должны быть, следовательно, и в неживой природе, и их надо искать именно здесь, где можно опереться на огромный опыт научного познания точных наук. Когда удастся обнаружить и изучить причину жизни Вселенной, тогда, уже не ощупью, как в древности, а со всей силой наших технических возможностей, не снижая того, что достигнуто, можно будет проложить путь иного прогресса, который ведет не к разрушению, а к усилению жизни Природы. Тогда восстановится гармония человека с Природой. Но реальна ли эта перспектива и не стоит ли она в противоречии с системой наших научных знаний?

При построении научной системы неизбежны упрощения: приходится отбрасывать малохарактерные частности и схематизировать явления. Так, законы Кеплера справедливы для движения планет под действием только одного центрального тела без учета возмущений со стороны других планет. Вместе с тем их открытие послужило фундаментом, на котором была основана система небесной механики. Однако при упрощении, необходимом для установления сущности явлений, теряются не только их частности, которые впоследствии будут учтены, но при этом можно потерять и что-то принципиальное. Так, например, в точных науках утеряно различие между причиной и следствием, существование которого подтверждает постоянный опыт нашей жизни и опыт всего естествознания. Если, как сделал Эрнест Мах, без учета этого обстоятельства построить концепцию Мира, то получится его парадоксальная философия, противоречащая действительности и показавшая этим неполноценность принципов точных наук. Это яркий пример того, что схематизация не должна превращаться в догматизм, утверждающий, что все существующее в Мире охвачено известными научными принципами. Поэтому и нельзя настаивать на том, что есть только тот путь технического прогресса, которым наука ведет современную цивилизацию, что второе начало термодинамики доказало неизбежность возрастания энтропии и роста разрушения и что даже звезды в небе могут светить только за счет безвозвратного сжигания простейших элементов, из которых раньше был создан Мир. На самом же деле звезды светятся иным образом — в противоречии с термодинамикой, не только с ее вторым, но и с первым началом. Поэтому наблюдательные данные о звездах являются тем ключом, который может дать нам возможность раскрыть загадку жизнеспособности Мира и дополнить принципы точных наук.

Достижения теоретической и ядерной физики позволили считать, что главнейшим источником звездной энергии является протон-протонная реакция, в результате которой образуются ядра гелия, с превращением в энергию соответствующего дефекта массы. При температурах, допустимых для звездных недр, эти реакции могут дать выход энергии в количестве, достаточном для пополнения расхода через излучение, и поддерживать этим путем длительное существование звезд. Для Солнца, и вообще для звезд умеренной светимости, этот энергетический ресурс может обеспечить их существование на десятки миллиардов лет, т. е. на сроки, находящиеся в соответствии с требованиями геологии и космогонии. Однако для сверхгигантов, т. е. очень массивных звезд высокой светимости, превышающей светимость Солнца в десятки и сотни раз, получаются сроки жизни слишком короткими, порядка десяти и даже одного миллиона лет. Трудно согласиться с тем, что эти огромные тела живут так мало — меньше, чем Альпы, Кавказ и другие молодые горы нашей земли! Для гипотезы термоядерных реакций сверхгиганты несут затруднения еще и с другой стороны. Если их структуры не сильно отличаются от структуры других звезд, то при их гигантских радиусах внутренняя температура получается порядка сотен тысяч градусов, при которой не может быть и речи о внутриядерных превращениях. Приходится считать, что мы наблюдаем газовые оболочки, в центре которых находится горячая звезда. Однако периоды колебаний яркости этих звезд при их свободной пульсации лучше согласуются с предположением обычной, сравнительно однородной структуры, чем

с моделью оболочки и ядра. Решающее же возражение, если не сказать опровержение, идеи ядерных источников звездной энергии принесли опыты Р. Дэвиса, не показавшие ожидаемого потока нейтрино из недр Солнца. В заброшенных шахтах Южной Дакоты на глубине около двух километров были заложены цистерны с четыреххлористым углеродом. Предполагалось регистрировать атомы радиоактивного аргона, которые могли возникнуть из атомов соответствующего изотопа хлора под действием солнечных нейтрино. Можно было надеяться, что этим путем удастся начать непосредственное изучение недр Солнца и таким образом положить начало «нейтринной астрономии». Даже отрицательный результат опытов в некотором смысле оправдал эти надежды. Действительно, слабый поток нейтрино свидетельствует о том, что температура внутри Солнца ниже предполагавшейся и что интенсивность идущих там ядерных превращений не может обеспечить энергию Солнца.

Причина, по которой гипотеза термоядерной энергии звезд держалась так долго и даже держится до сих пор, заключается в том, что реальные условия внутри звезд не сильно отличаются от тех, которых требует эта гипотеза. Поэтому при расчетах звездных моделей оказалось возможным подобрать структуры и химический состав звезд так, чтобы при данных массах и радиусах получить наблюдаемые светимости. Для отдельных звезд эти вычисления не имеют контроля. Объединяя же результаты вычислений для некоторых групп звезд, можно получить по изменению химического состава и также без контроля ход эволюции звезд. Однако эти спекулятивные расчеты опровергаются чрезвычайно важным обстоятельством, которое следует из рассмотрения всей совокупности звезд: наблюдательные данные показывают, что светимости звезд являются однозначной функцией масс и радиусов. Поэтому рассчитанный химический состав оказывается тоже функцией масс и радиусов, а следовательно, зависит от физического состояния звезды. Такой результат возможен лишь при равновесном превращении элементов, для чего нужны температуры в миллиарды градусов, заведомо не существующие в звездах. Если же без предвзятой идеи об источниках звездной энергии подходить к расчету внутреннего строения звезд, то в первом приближении естественно считать химический состав всех звезд одинаковым. Тогда зависимость светимости от масс и радиусов становится зависимостью от физических условий в некоторой широкой области их изменений. В этой области состояний источники энергии должны всегда подавать энергии столько, сколько может выйти из звезды. Так может быть, если в звезде нет специальных источников энергии, а вещество звезды, как при простом остывании, автоматически подает энергию в нужном количестве из своих запасов. Получается очень ответственный и глубокий по своим последствиям вывод: звезды представляют собой

макроскопический механизм, постоянно пополняющий свои запасы энергии и, следовательно, вырабатывающий энергию в силу некоторых весьма общих запасов Природы. Таким образом, свечение звезд является частным, но очень конкретным и ярким примером существования в Природе возможности противодействовать тепловой смерти, т. е. осуществлению равновесных состояний. Естественно думать, что и жизнь космических тел малой массы, какими являются планеты, поддерживается той же возможностью. Ведь монотонный ход распада радиоактивных элементов едва ли может объяснить цикличность орогенеза и других особенностей тектоники нашей Земли. Если твердо встать на эту позицию, тогда придется принять и выводы, которые с неизбежностью из нее вытекают.

Звезды во Вселенной существуют всюду. Поэтому причина их жизнеспособности должна иметь такую общность, которую имеют только пространство и время. Но в свойствах пространства нельзя усмотреть этой возможности потому, что пространство — это пассивная арена, где разыгрываются события Мира. Остается заключить, что время помимо пассивного, геометрического свойства, измеряемого часами, обладает еще и активными, физическими свойствами, благодаря которым время может взаимодействовать с материальными системами и препятствовать переходу их в равновесное состояние. Таким образом, время оказывается явлением Природы, а не просто четвертым измерением, дополняющим трехмерное пространство. Всякое не геометрическое свойство времени обязательно будет активным. Действительно, если оно существует объективно, то оно должно обнаруживаться в действии на материальные системы и, значит, активно воздействовать на вещество. Одним из таких свойств может быть направленный ход времени, т. е. различие будущего от прошедшего.

Ход времени неразрывно связан с причинностью, являющейся важнейшим свойством Мира, по крайней мере в его макроскопическом аспекте. Действительно, причина находится всегда в прошлом по отношению к следствию, а следствие — в будущем по отношению к причине. Возможность отличить причину от следствия является основой научного естествознания. Теоретическая же механика и другие точные науки считают, что нет свойств, по которым причину можно было бы отличить от следствия. Направленность времени появляется лишь в статистической механике, и может казаться, что она перебрасывает мост между естествознанием и точными науками. Хотя статистическая механика и учитывает причинность, все же этот мост является очень хрупким и недостаточным сооружением. Первоначальный толчок, который выводит систему из равновесного состояния, является причиной, которая по свойствам причинности вызывает многочисленные следствия. Начинают реализоваться все возможные состояния, и тем самым осуществляется

переход к наиболее вероятному состоянию, т. е. переход к статистическому равновесию. Поэтому возрастание энтропии дает знак времени, согласованный с причинностью: будущее наступает тогда, когда появляются следствия, вызванные первоначальной причиной. Но когда система приходит в равновесие, возможные флюктуации около этого состояния не зависят от знака времени, и кинофильм, заснявший эти флюктуации и пущенный в обратную сторону, не будет отличаться от кинофильма при его прямой демонстрации. Значит, направленность и ход времени статистической механики исчезают в равновесных системах и представляют собой свойства не времени, а состояния системы. Но такое представление похоже на солипсизм, согласно которому реально только наше восприятие Мира. Несравненно более глубоким является представление естествознания, согласно которому течение времени всегда существует, но, чтобы его обнаружить, нужны причинные связи, т. е. соответствующий прибор, которым и являются неравновесные системы.

Если течение времени, т. е. его направленность, существует независимо от нашего восприятия, как некоторая физическая реальность, то, действуя на материальные системы, оно будет препятствовать переходу их в равновесное состояние. Поэтому равновесное состояние является несуществующей в Мире абстракцией. В реальной же системе всегда может быть обнаружено различие будущего от прошедшего. Звезды не охлаждаются до равновесия с окружающим пространством, потому что этому препятствует текущее время. Значит, огромные массы вещества звезд перерабатывают время и превращают его в излучение. Наблюдая звезды в небе, мы видим не проявление разрушительных сил Природы, а проявление творческих сил, приходящих в Мир через время. Поэтому и энергию, которую дают ветер, течение воды или даже внутреннее тепло Земли, через Солнце или Землю приносит нам время. Когда-то этих источников хватало для жизни людей, но теперь их далеко не достаточно, чтобы обеспечить не только рост, но и уровень современной цивилизации. Поэтому, чтобы проложить путь иного прогресса, основанного на жизненных силах Природы, нельзя ограничиться их стихийным проявлением, а надо научиться самим создавать условия, вызывающие их действие. Теперь мы знаем, что такая возможность раскроется перед нами, если мы овладеем активными свойствами времени. Для этого надо начать с научных исследований, которые позволят изучить эти свойства.

Если время представляет собой физическое явление, то изучать его свойства надо в физической лаборатории путем специально поставленных опытов. Такие исследования важно начать, а дальше один опыт будет приводить к следующему, и такой путь не заглохнет, а будет расширяться, если только начало действительно отвечало сущности изучаемого предмета.

Итак, перед нами стоит задача, исходя из некоторых самых общих априорных соображений, найти такой легко выполнимый и совершенно конкретный физический опыт. Два основных требования к опытам можно сформулировать сразу:

1. Опыт должен быть простейшим, чтобы показать принципиальную возможность воздействия времени на материальную систему. Значит, в опыте достаточно иметь систему, которую можно рассматривать как систему материальных точек, отвлекаясь от ее частных физических свойств. Поэтому необходимо и достаточно начинать с опытов элементарной механики.

2. Различие будущего от прошедшего проявляет себя в причинных связях. Поэтому, чтобы обнаружить это свойство времени, надо в выбранную для опыта механическую систему ввести причинность, т. е. сообщить одной части системы некоторые свойства, которые бы передавались и поглощались другой ее частью.

Этих двух условий, разумеется, совершенно недостаточно, чтобы начать конкретные опыты. Необходимо еще из известных свойств причинности извлечь возможно более конкретные представления о том, что такое ход времени и чем он может быть измерен.

Ход времени должен измеряться величиной, имеющей определенный знак, отвечающий существующей в Мире его направленности. Меняя знак, мы будем иметь возможность дать определение хода времени при его противоположной направленности, что логически совершенно необходимо. Кроме знака должна существовать еще и мера хода времени, определяющая темп, с которым течет время. Так как ход времени проявляется в причинных связях, то его меру следует искать в свойствах причинности. Следствие всегда наступает с запаздыванием по отношению к причине. Поэтому между ними всегда существует различие во времени. Но есть еще и другое важное обстоятельство: причина всегда приходит со стороны. Следовательно, между причиной и следствием должно существовать и пространственное различие. Поэтому, беря для них отношение разностей пространства и времени, получаем величину, имеющую размерность скорости, которая и может служить мерой хода времени. Действительно, по этому определению ход времени получается бесконечно большим, когда причины мгновенно дают следствия, т. е. когда они при пространственном различии совпадают во времени. Именно таким образом механика Ньютона представляет передачу действия в системе материальных точек. Получается вполне разумное определение хода времени как скорости превращения причины в следствие. Эта скорость может быть абсолютной, универсальной постоянной с направлением по линии действия причины. Но чтобы иметь определенный знак, она не может быть обычной скоростью. Действительно, выбор пространственного направления совершенно

произволен, и поэтому нельзя с определенным знаком абсолютное различие во времени привязать к различию в пространстве. Но наше пространство обладает замечательным свойством абсолютного различия правого и левого винта. Поэтому ход времени будет иметь определенный знак, если он измеряется не просто скоростью, а линейной скоростью поворота вокруг оси, совпадающей с направлением действия причины. Тогда с позиции следствия этот поворот, связанный с причиной, может происходить или по, или против часовой стрелки. Если условиться один из этих поворотов считать положительным, а другой отрицательным, то ход времени будет иметь знак, не зависящий уже от нашего произвола.

Чтобы начать опыты, было достаточно этого формального определения хода времени и можно было не раздумывать над тем, что же на самом деле представляет собой поворот времени в причинных связях. Необходимый же опыт напрашивается теперь сам собой. Будем вращать часть механической системы, с которой связано, например, следствие относительно той ее части, с которой связана причина. Если, рассуждая совершенно формально, линейная скорость этого вращения алгебраически сложится с линейной скоростью поворота хода времени, то система окажется выведенной из обычного течения времени. Можно ожидать, что как на реке приостановленный плот испытывает давление воды, так и эта система будет испытывать давление текущего времени. В ней могут возникнуть дополнительные напряжения, направленные по оси вращения и зависящие от линейной скорости вращения и действующих сил. Теперь можно сформулировать третье основное требование к опыту.

3. В механическую систему должен быть введен вращающийся гироскоп так, чтобы причинное воздействие передавалось или от неподвижной части системы к ротору гироскопа, или, наоборот, от его ротора.

Опыты были проведены на двух простейших механических системах: рычажные весы и маятник, в котором на длинной нити был подвешен гироскоп с горизонтальной осью вращения. На рычажных же весах вместо одного из грузов подвешивался гироскоп с вертикальной осью. Причинные воздействия осуществлялись вибрациями опоры коромысла весов или точки подвеса маятника. Вибрации доходили до ротора гироскопа и им поглощались. Уже в первых опытах с вибрациями опоры рычажных весов стали получаться изменения показаний весов, зависящие от скорости и от направления вращения гироскопа, в полном соответствии с предвиденным результатом. Появившиеся в системе силы не могли иметь тривиального объяснения: они меняли знак при изменении направления вращения, и, кроме того, их знак стал обратным, когда в другом варианте опыта вибрации были вызваны колебанием ротора с поглощением их опорой весов. Не вдаваясь в детали этих опытов, перечислим основное из полученных результатов.

Ход времени не может вызвать одиночную силу. Он дает обязательно пару противоположно направленных сил. Значит, время не передает импульса, но может сообщить системе дополнительную энергию и момент вращения. Ход времени нашего Мира оказался равным 700 км/с с поворотом по часовой стрелке, если смотреть из следствия на причину. Эти опыты были осуществлены с точностью до пятого знака от действовавших в системе сил. Отсутствие же у времени импульса было проверено специальным опытом с точностью до седьмого знака. Этот результат имеет очень большое принципиальное значение. Отсутствие импульса, вероятно, и является тем основным свойством, которым время отличается от материи. Выполненные опыты производили удивительное, почти сказочное впечатление. Ведь в лаборатории наблюдался отблеск тех знаний, которые пришли к нам вместе со светом звезд...

(На этом записи прерываются. Это, видимо, вводная глава книги, которую начал писать Н. А. Козырев.)

Л. С. Шихобалов

ПРИЧИННАЯ МЕХАНИКА Н. А. КОЗЫРЕВА: АНАЛИЗ ОСНОВ

1. Введение. Астроном и мыслитель — Николай Александрович Козырев (2.09.1908—27.02.1983) — яркий, самобытный ученый, оставивший после себя большое научное наследие. Еще при жизни ученого его пионерские работы по теоретической астрофизике и наблюдательной астрономии снискали мировое признание. Об этом говорит, в частности, награждение его Международной академией астронавтики именной золотой медалью. Значительное место в научном наследии Н. А. Козырева занимает основанная им *причинная механика* — наука о физических свойствах времени [1—15]. К этой части наследия ученого отношение научной общественности было и остается неоднозначным, причем спектр мнений очень широк: от практически полного признания идей, содержащихся в причинной механике, до категорического неприятия этой теории. Однако в научной литературе до сих пор не проведен критический анализ причинной механики, хотя необходимость в нем не вызывает сомнения, так как эта теория затрагивает самые основы естествознания. Далее делается попытка в какой-то степени восполнить этот пробел.

2. Представление о времени в физике. *Время* — одно из наиболее фундаментальных понятий физики. Оно, или точнее характеризующая его переменная (обозначаемая обычно буквой t от английского time — время), входит в уравнения движения классической механики Ньютона, в уравнение Шредингера квантовой механики, в уравнения, описывающие эволюцию систем в термодинамике и статистической физике, и во многие другие уравнения практически всех разделов физики. Мы не будем подробно излагать состояние проблемы времени в физике, так как этому вопросу посвящена обширнейшая литература [16—30 и др.]. Отметим лишь главное.

В современной физике только одно свойство времени — его длительность, измеряемая часами, — исследовано достаточно подробно. Именно это свойство (вместе с допущениями об одно-

мерности, непрерывности и однородности времени) положено в основу принятой ныне теории пространства-времени — теории относительности. Согласно последней пространство и время представляют собой единое четырехмерное многообразие, точки которого являются образами элементарных событий нашего мира. В отношении времени эта теория устанавливает правило согласования показаний часов, находящихся в разных точках пространства и произвольным образом движущихся относительно друг друга.

Вместе с тем в физике целый ряд принципиальнейших вопросов, касающихся свойств времени, остается без ответа. Например: «Почему вообще время течет и к тому же всегда только в одном направлении?» Или другой вопрос: «Посредством какого именно механизма (физического поля) поддерживается согласованность темпов течения времени в разных точках пространства?» (Наиболее наглядно эта согласованность проявляется в том, что в области пространства с пренебрежимо слабым гравитационным полем темпы течения времени в любых двух неподвижных относительно друг друга точках строго одинаковы.) Попытки дать ответы как на эти, так и на другие вопросы, касающиеся специфических свойств времени, предпринимались во многих физических и философских работах. Однако предлагаемые ответы не являются достаточно убедительными. В качестве примера приведем три наиболее часто высказываемые гипотезы о природе течения времени и его направленности.

Согласно одной из них это свойство времени обусловлено общим расширением Вселенной. Но такое объяснение трудно принять. Дело в том, что расширение Вселенной есть взаимное разбегание галактик, которое не сопровождается изменением пространственных масштабов внутри них и уж тем более внутри нашей солнечной системы. Поэтому данная гипотеза вызывает необходимость ответить на вопрос, каким образом часы на Земле «узнаю́т» о разбегании далеких галактик. Никаких реальных соображений относительно этого в современной физике не имеется.

Вторая гипотеза связывает течение времени и его направленность со вторым началом термодинамики, т. е. с однонаправленным ростом энтропии в окружающем мире, вызываемым протеканием различных необратимых процессов. Но и в этом случае остается неясным, каким образом информация о возрастании энтропии передается часам. Поэтому маловероятно, чтобы энтропия могла служить причиной течения времени.

Наконец, третья гипотеза состоит в утверждении, что никакого течения времени вообще нет. А дело в том, что все тела в нашем мире в действительности являются не трехмерными, как нам это представляется, а четырехмерными, растянутыми вдоль временно́й оси; течение же времени, как и трехмер-

ность, — есть лишь чисто психологический эффект, обусловленный спецификой нашего субъективного восприятия мира, так сказать, обман чувств. Однако против такого объяснения также можно высказать серьезные возражения. Во-первых, все физические теории строятся для трехмерных, а не четырехмерных объектов, и все уравнения физики описывают поведение именно трехмерных тел. Поэтому современная физика — это физика трехмерных тел. А общеизвестные успехи ее в описании природы не дают оснований для сомнения в справедливости заложенного в ней допущения о трехмерности окружающих нас тел. Во-вторых, в связи с тем, что мы сами являемся объектами физического мира и поэтому согласно рассматриваемой гипотезе имеем некоторое фиксированное протяжение вдоль временнóй оси, встает вопрос о том, какой же физический механизм в нашем мозгу вызывает ощущение течения времени. Ответа на этот вопрос нет. В-третьих, остается совершенно не ясным, почему мы не ощущаем нашу четырехмерность. Причем если в отношении зрительного восприятия мира еще можно высказать по данному поводу какие-то соображения (например, сослаться на то, что воспринимаемый нами свет, идущий от окружающих тел, распространяется вдоль так называемого светового конуса, который является трехмерным многообразием), то уж в отношении осязания нет никаких разумных соображений, почему мы, если мы действительно четырехмерны, не можем воспринимать собственное четвертое измерение, как это происходит с тремя другими измерениями. Четвертое возражение имеет философский характер. Если мы четырехмерны, то, следовательно, полностью фиксированы не только наши прошлое и настоящее, но и наше будущее. А это означает абсолютную предопределенность, детерминированность нашего поведения, полное отсутствие свободы выбора. По-видимому, столь категорический вывод не соответствует действительности. В самом деле, казалось бы, читатель может прямо сейчас закрыть книгу и отложить ее в сторону, а может продолжить чтение. И как-то странно было бы полагать, что результат этого выбора никак не зависит от желания читателя, а заранее предопределен при «сотворении мира».

Из сказанного видно, что, несмотря на фундаментальность времени, в физике пока еще нет детально разработанной концепции понятия «время». Более того, не сформулировано даже сущностное определение времени, которое бы полностью конкретизировало его свойства, а имеются только операционные определения, которые указывают различные способы измерения промежутков времени.

Принятая ныне концепция времени в основных своих чертах сложилась к 30-м годам XX в. под влиянием созданной к тому времени теории относительности и с тех пор принципиальных изменений не претерпела. Необходимость дальнейшего развития представлений о времени осознавалась и ныне осознается многими учеными. Так, В. И. Вернадский еще в 30-е годы писал: «Наука XX столетия находится в такой стадии, когда *наступил момент изучения времени, так же, как изучается материя и энергия, заполняющие пространство»* [31, с. 81]. Эти слова Н. А. Козырев поставил эпиграфом к основной главе своей монографии «Причинная или несимметричная механика в линейном приближении» [1, с. 13].

Мы вкратце обрисовали ситуацию, которая сложилась в отношении времени в физике. Вместе с тем в других науках также развиваются представления о времени. Так, можно встретить понятия времени биологического, психологического, социального и т. д. Введение их связано с объективными потребностями соответствующих наук. Однако эти понятия разработаны в еще меньшей степени. Не ясна также связь их между собой и с временем физическим.

В дальнейшем мы сосредоточим внимание только на физическом времени, так как именно оно исследуется в работах Н. А. Козырева. Подчеркнем, что не следует смешивать понятие физического времени с философской категорией времени. Рассматриваемое в материалистической философии время как всеобщая форма бытия материи, ее важнейший атрибут представляет собой широкое обобщение представлений о времени, даваемых всеми конкретными науками, всем человеческим опытом. Философское понятие времени не тождественно физическому, точно так же, как философская категория пространства не тождественна естественнонаучному понятию пространства, рассматриваемому такими конкретными науками, как геометрия, топология, теория относительности.

3. Методологические основы причинной механики. В современном естествознании имеются два диаметрально противоположных подхода к изучению времени. Один, называемый *реляционным*, основан на представлении, что «в природе нет никакого времени «самого по себе». ⟨...⟩ Время — это всегда конкретное физическое свойство данных конкретных физических тел и происходящих с ними изменений» [29, с. 194]. Другой подход — *субстанциональный*, который развивал, в частности, Н. А. Козырев, — предполагает, что время представляет собой самостоятельное явление природы и оно может каким-то образом воздействовать на объекты нашего мира и протекающие в нем процессы (причем не исключено и обратное воздействие состояний объектов и характеристик процессов на какие-то свойства времени). Пока что нет достаточных данных для того, чтобы установить достоверно, какой из этих подходов лучше отражает реальную действительность; поэтому оба они имеют право на существование.

В обоснование реляционного подхода обычно приводят тот довод, что согласно общей теории относительности геометрия

пространства-времени (его кривизна, темп течения времени и т. д.) зависит от распределения масс и их взаимного движения. Так, например, около большей массы время течет медленнее, чем около меньшей. В связи с зависимостью времени от характеристик тел и делают заключение, что время не представляет собой самостоятельной сущности. Однако данное рассуждение не является бесспорным. Действительно, из само́й общей теории относительности следует, что пространство-время имеет вполне определенное предельное состояние при устремлении масс всех тел и энергии всех полей к нулю. Это состояние описывается специальной теорией относительности и представляет собой четырехмерное плоское псевдоевклидово пространство, называемое пространством Минковского. Таким образом, не содержащее никаких тел и полей пустое пространство-время обладает строго фиксированной геометрией. Из этого обстоятельства, казалось бы, естественно сделать заключение, прямо противоположное традиционному, а именно, что пространство-время, а потому и само время существуют независимо от тел и полей, последние же лишь искажают геометрию пространства-времени, превращая его из плоского псевдоевклидова в искривленное псевдориманово пространство. Вот если бы общая теория относительности при переходе к предельному случаю пустого пространства-времени приводила к какому-либо не имеющему разумного смысла результату, например, если бы в случае пустого пространства-времени время текло бесконечно быстро или, наоборот, совсем остановилось, или же если бы в этом случае оно просто не существовало (как не существует, к примеру, предел функции $\sin(1/x)$ при x, стремящемся к нулю), то тогда были бы все основания сделать заключение, что вне материальных тел время не существует. Но поскольку это не так, а пустое пространство-время имеет вполне определенную геометрию, то представляется, что указанный выше довод, который обычно выставляют в пользу реляционного подхода к изучению времени, говорит, скорее, в пользу противоположного — субстанционального подхода, рассматривающего время как самостоятельное явление природы. Отметим также, что субстанциональный подход оставляет исследователю гораздо бо́льшую свободу для творческих поисков, нежели реляционный, что может способствовать более успешному решению научной проблемы.

Принятие *субстанционального подхода к изучению времени* есть первое из методологических допущений, на которых строится причинная механика.

Вторым является допущение, что *время наряду с обычным свойством длительности, измеряемой часами, обладает еще и другими свойствами.* Эти свойства Н. А. Козырев называет *физическими*, или *активными*, противопоставляя их свойству длительности, называемому им геометрическим, или пассивным.

(Отметим, чтобы в дальнейшем не возвращаться к этому вопросу, что Н. А. Козырев никоим образом не ревизует общепринятые представления, касающиеся длительности времени, и пользуется во всех своих рассуждениях и расчетах понятием промежутка времени в точности так, как это делается всеми.) В связи с тем, что в рамках традиционной научной парадигмы, оперирующей единственным свойством времени — длительностью, — невозможно ни подтвердить, ни опровергнуть данное допущение (ибо нельзя доказать наличие или отсутствие того, что не определено), оно с полным основанием может быть принято в качестве рабочей гипотезы.

Правомочность данного допущения подтверждается также следующим. Теория, предполагающая наличие у времени других свойств помимо длительности, если она будет создана и будет внутренне непротиворечива, не может оказаться ошибочной, она лишь рискует оказаться избыточной. Действительно, если реальное время все-таки никакими свойствами кроме длительности не обладает, то в таком случае во всех уравнениях этой теории характеристики, отвечающие дополнительным свойствам времени, просто должны быть приняты равными нулю. Тогда она автоматически перейдет в теорию, предполагающую наличие у времени единственного свойства — длительности. Обратное же, подчеркнем, неверно: если на самом деле время обладает наряду с длительностью и другими свойствами, то никакая теория, основанная на предположении об отсутствии у времени иных свойств, кроме длительности, не сможет описать правильно реальную действительность.

В качестве иллюстрации того, как более общая теория может переходить в частную при «занулении» отдельных характеристик рассматриваемых объектов, можно привести такой гипотетический пример. Будем развивать планиметрию как науку о трехмерных, а не двухмерных объектах, полагая что квадрат, круг и прочие изучаемые планиметрией фигуры имеют некоторую конечную толщину (например, равную 1 см) и что все они располагаются в тонком плоском слое той же толщины, неограниченно протяженном в направлениях, параллельных срединной плоскости слоя. Понятно, что в принципе такую науку можно построить. При этом она будет гораздо более громоздкой, чем обычная планиметрия, так как рассматриваемые в ней объекты обладают более богатыми свойствами, чем обычные фигуры в планиметрии (в них, например, имеются диагонали, пересекающие фигуру по толщине). Однако если в такой, более общей, теории положить толщины слоя и всех фигур равными нулю, то она перейдет в обычную планиметрию. Так и теория, допускающая наличие у времени дополнительных свойств, если положить в ней все характеристики этих свойств равными нулю, перейдет в теорию, исключающую наличие последних.

Третье допущение, принимаемое Н. А. Козыревым, гласит: *активные свойства времени могут быть исследованы экспериментально.* Это допущение, очевидно, также является оправданным.

Сложность экспериментального изучения времени состоит в том, что оно, как и пространство, не может быть исследовано

непосредственно. Это связано с тем, что наши органы чувств и все имеющиеся физические приборы способны воспринимать непосредственно только свойства вещества, а не свойства вмещающих его времени и пространства.* Поэтому если время и может исследоваться экспериментально, то лишь опосредованно, путем изучения физических систем и протекающих в них процессов. Такая опосредованность вызывает трудности в интерпретации получаемых данных, поскольку заранее не ясен критерий, который позволил бы отделить характеристики систем и процессов, обусловленные воздействием времени, от характеристик, внутренне присущих самим системам и процессам. Эта неопределенность в значительной мере и обусловливает сосуществование двух упоминавшихся подходов к описанию времени — реляционного, который приписывает все наблюдаемые характеристики систем и процессов самим этим системам и процессам и тем самым исключает наличие у времени каких-либо самостоятельных свойств, и субстанционального, допускающего такие свойства. Отметим, что в изучении времени заключена еще дополнительная трудность по сравнению с изучением пространства. Пользуясь геометрическим языком, можно сказать, что она связана с тем, что время ортогонально нашему миру, поэтому мы не можем ни зрительно, ни с помощью приборов заглянуть в это, ортогональное нашему миру направление и увидеть сразу весь временнóй порядок окружающих нас предметов подобно тому, как мы глазами видим сразу весь их пространственный порядок.

Мы рассмотрели три методологических допущения, на основе которых строится причинная механика: принятие субстанционального подхода к исследованию времени, допущение о наличии у времени иных свойств, кроме длительности, и утверждение о возможности экспериментального исследования этих свойств. Сам Н. А. Козырев концентрированно сформулировал эти допущения следующим образом: «Время представляет собой явление природы с разнообразными свойствами, которые могут быть изучены лабораторными опытами и астрономическими наблюдениями» [11].

Рассмотренные допущения носят, так сказать, стратегический характер. Следующие два методологических допущения можно отнести к разряду тактических. Первое состоит в выборе

* Из данного обстоятельства не следует обязательно, что не существует самих по себе времени и пространства. Более того, это не исключает даже такую крайнюю гипотетическую ситуацию, что как раз наоборот, существуют только время и пространство, а вещество представляет собой не самостоятельную сущность, а всего лишь некоторые относительно стабильные сгустки пространства-времени (наподобие солитонов), которые только и воспринимаются физическими приборами и нашими органами чувств. (Не есть ли понимаемое таким образом пространство-время тем самым физическим вакуумом, из которого рождаются частицы вещества?)

конкретного метода построения теории. Н. А. Козырев избрал *аксиоматический метод*. В соответствии с ним причинная механика начинается с принятия аксиом, задающих свойства времени (по-видимому, это первая в физике попытка дать сущностное определение времени), а затем на основе принятых аксиом выводятся следствия о возможных воздействиях времени на различные физические системы. Использование аксиоматического метода, разумеется, не может вызвать возражений, оно согласуется с общим стремлением ученых, работающих в области точных наук, к логической стройности своих теоретических разработок и восходит к построению геометрии Евклидом и механики Ньютоном.

Второе «тактическое» допущение касается выбора математических моделей для описания объектов нашего мира. Н. А. Козырев больше всего интересовался проявлениями свойств времени в обычных окружающих нас физических системах и протекающих в них процессах. Такие системы имеют массы не очень малые, по крайней мере существенно превосходящие массы элементарных частиц. Вместе с тем их массы значительно уступают массам характерных структур Вселенной (наиболее массивными объектами, активно влияющими на наше существование и потому особенно интересовавшими ученого, являются Солнце и Земля). Кроме того, скорости взаимных движений таких систем и их отдельных частей существенно меньше скорости света (взаимодействие времени с электромагнитным излучением Н. А. Козырев не рассматривал). Подавляющее большинство таких систем и происходящих в них процессов не проявляет релятивистских и квантовых эффектов и хорошо описывается классической механикой Ньютона. Поэтому согласно Н. А. Козыреву причинная механика может строиться на базе тех же математических моделей объектов нашего мира, что и классическая механика Ньютона. В связи с этим в причинной механике принято, что *математическими образами физических объектов являются материальные точки или системы материальных точек, образами их воздействий друг на друга служат векторы сил, а ареной, на которой разыгрываются события мира, служат трехмерное собственно евклидово пространство и время — одномерное, непрерывное и однородное по своему геометрическому свойству длительности.* Вряд ли существуют причины, по которым можно было бы заранее, до сравнения результатов теории с опытом, возразить и против этого допущения.

Пять рассмотренных допущений являются главными методологическими посылками, на которых базируется причинная механика.

4. Постулаты причинной механики. Н. А. Козырев излагает основы причинной механики в трех работах [1, 2, 5], опубликованных соответственно в 1958, 1963 и 1971 гг. Формулировки

27 Заказ № 23

исходных аксиом в этих работах несколько различаются, что отражает развитие представлений ученого о свойствах времени. Мы будем основываться на работе [5] как наиболее поздней публикации.

Н. А. Козырев формулирует три постулата о физических свойствах времени.

Постулат I. *Время обладает особым свойством, создающим различие причин и следствий, которое может быть названо направленностью или ходом. Этим свойством определяется отличие прошедшего от будущего.*

Данный постулат, устанавливая наличие тесной связи времени и причинности, немедленно приводит к важному выводу, что на практике искать проявления активных свойств времени следует в причинно-следственных отношениях между явлениями нашего мира. Принятие этого постулата в качестве исходного положения теории свидетельствует о том, что при ее создании Н. А. Козырев ставил целью поиск конкретных экспериментально наблюдаемых эффектов проявления свойств времени в нашем мире. Представление о связи времени с причинностью пронизывает всю теорию Козырева. Это видно, например, из того, что все три аксиомы о свойствах времени содержат термины «причина» и «следствие». Именно убеждение ученого в наличии такой связи побудило его назвать свою теорию физических свойств времени причинной механикой.

Представление о связи времени и причинности не является новым в науке. Еще три столетия назад его обсуждал Г.В. Лейбниц. При этом он считал временно́й порядок событий мира результатом причинно-следственного порядка. Однако исследования современных философов — Г. Рейхенбаха, Дж. Дж. Уитроу, А. М. Мостепаненко и других — показали, что, скорее всего, имеет место обратное взаимоотношение между временны́м и причинно-следственным порядком: временно́й порядок представляет собой основу порядка причинно-следственного, а не наоборот. Именно такую точку зрения на соотношение времени и причинности отражает теория Козырева.

Взглянем на данный постулат с позиции классической механики. Согласно третьему закону Ньютона взаимодействие двух тел осуществляется таким образом, что силы, с которыми тела воздействуют друг на друга, равны между собой по модулю и противоположны по направлению, причем действуют они одновременно; кроме того, в классической механике всегда принимается, что эти силы имеют одну линию действия. Отсюда видно, что в рамках классической механики между причиной и следствием не существует различий, т. е. выполняется известный принцип «causa aequat effectum» — «причина адекватна следствию». В этом состоит принципиальная ограниченность классической механики. Преодоление ее и является целью причинной механики. Обсуждаемый постулат утверждает, что

время обладает как раз таким свойством, которое порождает различие между причиной и следствием.

Не совсем удачным в рассматриваемом постулате является использование термина «направленность» в качестве названия постулированного свойства времени, так как этот термин уже имеет хождение в науке, а смысл, вкладываемый в него в причинной механике, не тождествен общепринятому. Второе название этого свойства — «ход времени» — также не слишком удачно, потому что в дальнейшем оно используется не столько применительно к самому́ данному свойству времени, сколько к одной его количественной характеристике. Однако эти терминологические шероховатости, разумеется, не снижают значения обсуждаемого постулата.

Следующие два постулата уточняют, в чем именно состоит различие между причиной и следствием, указанное в постулате I.

Постулат II. *Причины и следствия всегда разделяются пространством. Поэтому между ними существует сколь угодно малое, но не равное нулю пространственное различие δx.*

Постулат III. *Причины и следствия различаются временем. Поэтому между их проявлением существует сколь угодно малое, но не равное нулю временно́е различие δt определенного знака.*

Эти постулаты согласуются со всем опытом естествознания, касающимся свойств причинности. Их содержание настолько прозрачно и естественно, что не видно каких-либо доводов против их принятия. И даже если в реальности все же выполняется условие $\delta x = 0$ или $\delta t = 0$, то и такой случай может быть получен из рассматриваемой теории посредством соответствующего предельного перехода. (Между тем, если принять $\delta x = 0$ или $\delta t = 0$, а в действительности соответствующая величина не равна нулю, то такая теория заведомо не будет адекватна реальности.)

В причинной механике, как отмечалось, вещество моделируется материальными точками. В рамках такой модели всякий процесс может быть представлен как последовательность отдельных причинно-следственных звеньев. При этом самое малое (элементарное) причинно-следственное звено состоит из двух материальных точек — точки-причины и точки-следствия, — которые согласно второму и третьему постулатам разделены пространством и временем и между которыми уже нет никаких других материальных точек. Считается, что величины δx и δt относятся именно к такому элементарному причинно-следственному звену (причем они, вообще говоря, могут быть различными для разных звеньев).

Н. А. Козырев вводит в рассмотрение величину

$$c_2 = \frac{\delta x}{\delta t}, \qquad (1)$$

которую называет *ходом времени*. Эта величина имеет размерность скорости и характеризует скорость перехода причины в следствие в элементарном причинно-следственном звене. Величина c_2 является основной количественной характеристикой в причинной механике. На основании того, что элементарное причинно-следственное звено не содержит между точкой-причиной и точкой-следствием никакого вещества, а только пространство и время, ученый заключает, что величина c_2 должна отражать свойства именно времени и пространства, а не конкретной физической системы или процесса. В связи с этим он делает предположение, что c_2 является универсальной мировой константой, подобной, например, скорости света в вакууме.

Следующее положение причинной механики уточняет математический характер величины c_2. Это положение не выделено в качестве отдельного постулата, но по своей сути является именно таковым. Поэтому назовем его четвертым постулатом.

Постулат IV. *Ход времени c_2 является псевдоскаляром, положительным в левой системе координат.*

В отношении величины c_2 необходимо отметить следующее. Данная величина, как указывалось, характеризует скорость перехода причины в следствие в элементарном причинно-следственном звене. Однако величина c_2 не есть наблюдаемая на макроскопическом уровне скорость реализации всей причинно-следственной цепи. Это связано с тем, что окончание одного элементарного причинно-следственного перехода и начало следующего могут быть разделены каким-то промежутком времени, потребным, например, для перемещения точки-причины или точки-следствия из одного места пространства в другое. Здесь можно провести аналогию со взаимодействием молекул газа: между двумя последовательными взаимодействиями одной молекулы газа с другими протекает какое-то время, когда молекула движется свободно, без взаимодействий, причем это время может значительно превышать время осуществления отдельного межмолекулярного взаимодействия (особенно, в случае разреженного газа), поэтому скорости макроскопических процессов в газе, таких, как распространение ударной волны и других, не связаны напрямую со скоростью осуществления отдельного межмолекулярного взаимодействия. Точно так же и наблюдаемая на макроскопическом уровне скорость реализации причинно-следственной цепи может быть не связана напрямую с величиной хода времени c_2. Из этого ясно, что разработка методов экспериментального определения этой величины представляет собой непростую задачу.

Н. А. Козыреву удалось поставить соответствующие опыты. Они показали, что

$$c_2 \approx 2200 \ \frac{\text{км}}{\text{с}} \approx \frac{1}{137} c_1 \ \text{в левой системе координат,} \qquad (2)$$

где c_1 — скорость света в вакууме (в [5] приведено иное значение величины c_2, но в более поздней работе [6] дается именно это — см. с. 367 и 382 *). Из (2) следует, что отношение c_2 к c_1 примерно равно постоянной тонкой структуры Зоммерфельда α. Происхождение этой фундаментальной безразмерной константы давно волнует ученых-физиков. Так, Ричард Фейман пишет: «Вам, конечно, хотелось бы узнать, как появляется это число ⟨...⟩? Никто не знает. Это одна из *величайших* проклятых тайн физики: *магическое число*, которое дано нам и которого человек совсем не понимает» [32, с. 114]. Если в реальной действительности отмеченная связь c_2 и c_1 с α выполняется не приближенно, а точно, то эта «величайшая тайна физики» перестает быть тайной: константа α оказывается просто отношением двух фундаментальных скоростей — c_2 к c_1:

$$\alpha = \frac{e^2}{2\varepsilon_0 h c_1} = \frac{c_2}{c_1} \approx \frac{1}{137}, \qquad (3)$$

здесь первое равенство есть определение величины α; e — элементарный заряд; ε_0 — электрическая постоянная; h — постоянная Планка (квант действия).

Далее в причинной механике речь идет о силах, которые появляются в причинно-следственном звене при определенных условиях и которые являются добавочными по отношению к силам, предсказываемым классической механикой. Утверждение, конкретизирующее значения этих сил, также не выделено в качестве самостоятельной аксиомы, а представлено в виде результата, вытекающего из постулированных свойств времени. Однако совершенно очевидно, что, располагая единственной (псевдо)скалярной характеристикой — ходом времени c_2, — принципиально невозможно чисто логическим путем сделать однозначное заключение о значении векторной величины, каковой является сила (для этого требуется знание трех независимых скалярных величин). Поэтому приводимое обоснование указанного утверждения заведомо не может быть строгим. И нетрудно убедиться, что оно действительно опирается не только на сформулированные ранее постулаты, но и на некоторые допущения, выходящие за рамки последних. Разумеется, и сам автор причинной механики не считал это обоснование строгим логическим выводом. Так, он пишет: «Изложенные здесь теоретические соображения нужны в основном только для того, чтобы знать, как поставить опыты по изучению свойств времени» (с. 345). В связи с этим сразу сформулируем окончательный результат в виде самостоятельного постулата. Придание ему статуса постулата тем более оправданно, что он выполняет в причинной механике такие же функции, какие в классической механике выполняют второй и третий законы Ньютона.

* Здесь и далее страницы указаны по настоящему изданию.

Постулат V. *Если в причинно-следственном звене имеет место относительное вращение точки-причины и точки-следствия, то в нем наряду с силами, учитываемыми классической механикой, действуют и определенные добавочные силы. При этом добавочные силы, приложенные к точке-причине и к точке-следствию, равны по модулю и противоположны по направлению, так что их главный вектор равен нулю. Вместе с тем линии действия этих сил могут не совпадать, поэтому их главный момент может быть отличен от нуля.*

Для реального причинно-следственного звена, состоящего из макроскопических тела-причины и тела-следствия, при условиях, что: а) одно из тел вращается, а другое не вращается, б) вращающееся тело по форме близко к идеальному волчку (то есть вся его масса располагается примерно на одном расстоянии от оси вращения, а центр масс находится на этой оси), в) центр масс невращающегося тела также находится в некоторой точке оси вращения, добавочные силы имеют вид

$$\Delta\mathbf{\Phi} \approx \mathbf{j}\frac{u}{c_2}|\mathbf{\Phi}_0|, \qquad \Delta\mathbf{R} \approx -\mathbf{j}\frac{u}{c_2}|\mathbf{\Phi}_0|, \tag{4}$$

где $\Delta\mathbf{\Phi}$, $\Delta\mathbf{R}$ — результирующие добавочных сил, действующих соответственно на следствие и причину; $\mathbf{j}$ — орт оси вращения, направленный в ту сторону, откуда вращение кажется происходящим по ходу часовой стрелки; u — псевдоскаляр, равный по абсолютной величине линейной скорости поворота и имеющий положительный знак в левой системе координат (все точки идеального волчка характеризуются одним значением u); Φ_0 — описываемая классической механикой сила, с которой причина действует на следствие (при этом к причине приложена сила противодействия со стороны следствия $\mathbf{R}_0 = -\Phi_0$). Предполагается, что $|u| \ll |c_2|$, поэтому $|\Delta\mathbf{\Phi}| \ll |\Phi_0|$ и $|\Delta\mathbf{R}| \ll |\Phi_0|$, т. е. *силы $\Delta\mathbf{\Phi}$ и $\Delta\mathbf{R}$ представляют собой малые добавки к «классической» силе Φ_0.*

Для этого же макроскопического причинно-следственного звена, но в случае, когда центр масс невращающегося тела расположен в стороне от оси вращения, добавочные силы описываются теми же выражениями (4), в которых под $\mathbf{j}$ следует понимать орт, параллельный оси вращения, направленный так, как указано выше, и приложенный для каждого тела в его центре масс.

Опыты, в которых Н. А. Козырев наблюдал появление добавочных сил, ставились таким образом, что в них реализовалась ситуация, описанная в последнем абзаце постулата V. В данном случае добавочные силы, приложенные к причине и следствию, направлены вдоль параллельных, но не совпадающих прямых. Вследствие этого их главный момент не равен нулю, и он вызывает поворот причинно-следственного звена. Такой поворот и наблюдался в опытах. В связи с тем, что по отношению к причинно-следственному звену добавочные силы являются внутренними, наличие у них ненулевого главного момента ведет к нарушению закона сохранения момента импульса. Вместе с тем закон сохранения импульса в данном случае остается в силе, так как согласно постулату V главный вектор добавочных сил равен нулю. Обсудим эту ситуацию с позиции классической механики.

Закон сохранения импульса и закон сохранения момента импульса являются одними из основных законов физики. Причем обычно считается, что к описанию поведения физических систем они применимы в равной степени. Однако если обратиться к обоснованию этих законов, даваемому классической механикой, то можно увидеть, что они базируются на несколько различающихся допущениях. Так, закон сохранения импульса выводится непосредственно из законов Ньютона, закон сохранения момента импульса — из законов Ньютона и дополнительного допущения о том, что *силы взаимодействия любых двух внутренних точек системы имеют одну линию действия* [33, с. 135—137]. Из этого следует, что рассматриваемые законы только в том случае могут иметь одинаковую степень применимости к описанию природы, если указанное дополнительное допущение является таким же общим законом природы, как законы Ньютона. Между тем в классической механике данное допущение не возводится в ранг фундаментального закона. Это говорит о том, что в классической механике заложена принципиальная возможность того, что при каких-то условиях указанное допущение и вместе с ним закон сохранения момента импульса могут нарушаться. Именно о таком случае идет речь в постулате V. Из него следует вывод, что *в причинно-следственных связях может происходить нарушение закона сохранения момента импульса.* Этот вывод, как видно из изложенного, естественным образом дополняет представления классической механики.

Отметим, что в теоретической физике принято выводить закон сохранения момента импульса из допущения об изотропности пространства. При таком подходе вывод, вытекающий из постулата V, может быть истолкован как утверждение, что причинно-следственные процессы могут изменять геометрию пространства, нарушая его изотропность. Такая интерпретация ставит данный вывод в один ряд с известным результатом общей теории относительности, согласно которому любое тело, обладающее ненулевой массой, изменяет геометрию пространства, вызывая его искривление.

Важность постулата V определяется, в частности, следующим.

Во-первых, этот постулат открывает путь к экспериментальной проверке причинной механики. Проделав соответствующие опыты, Н. А. Козырев получил с помощью формул (4) указанное в (2) значение хода времени c_2.

Во-вторых, постулат V впервые в физике устанавливает объективное отличие причин от следствий в простейших механических системах. Из (4) вытекает, что в случае причинно-следственного звена, содержащего вращающееся тело, можно узнать, является оно причиной или следствием, по тому признаку, в какую именно сторону кажется происходящим вращение его при взгляде со стороны, куда направлен вектор добавочной силы. Если вращение кажется происходящим по ходу часовой стрелки, то рассматриваемое тело является следствием, если против хода часовой стрелки, то оно является причиной. Из этого видно, что в причинной механике различие причины и следствия связывается с различием правого и левого.

В-третьих, из постулата V вытекает вывод о возможности различия свойств зеркально-симметричных систем. Пусть имеются два зеркально симметричных причинно-следственных звена, включающие в себя вращающиеся тела. У таких звеньев направления вращений этих тел противоположны (точнее говоря, у одного звена псевдовектор угловой скорости поворота направлен в ту сторону от вращающегося тела, где находится невращающееся тело, а у другого звена он направлен в противоположную сторону). При одинаковых внешних условиях и начальных состояниях действующие в таких звеньях «классические» силы будут одинаковыми, так как классическая механика не делает различия в свойствах зеркально-симметричных систем. Вместе с тем добавочные силы в звеньях, как следует из выражений (4), будут направлены в противоположные стороны. Понятно, что такие звенья будут обладать разными физическими свойствами. Важность этого вывода определяется тем, что в физике до сих пор не найдено убедительного объяснения многочисленным проявлениям в природе зеркальной асимметрии. Наиболее ярким примером ее является так называемая хиральная чистота биологических объектов, которая заключается в наличии исключительно правой закрутки молекул нуклеиновых кислот и исключительно левой закрутки белков [34]. Это свойство живого вещества, начало изучению которого положил Л. Пастер, считается одним из основных признаков жизни [35].

Остановимся на тех аспектах постулатов IV и V, которые представляются недостаточно убедительными.

В опытах, описанных в [5], использовались механические системы в виде рычажных весов или длинного маятника с подвешенными к ним вращающимися гироскопами. Добавочные силы определялись по отклонению весов от равновесия и по отклонению нити маятника от вертикали. Причинность вводилась в систему посредством механических вибраций, нагрева или пропускания электрического тока, причем источник воздействия помещался вблизи одного из концов системы (выполнявшего роль причины) и воздействие естественным путем передавалось по системе к другому ее концу (следствию). Опыты показали, что добавочные силы возникают только при наличии такого воздействия. Следовательно, указанное воздействие играет определяющую роль в появлении эффекта. Между тем никакие характеристики воздействия не входят в выражения (4), описывающие величины добавочных сил. Это обстоятельство вызывает удивление. По-видимому, дело здесь в том, что выражения (4) являются приближенными. Можно надеяться, что после проведения дополнительных исследований окончательные выражения для добавочных сил будут содержать какие-то характеристики причинного воздействия.

В работе [5] при описании опытных данных с помощью формул (4) в качестве силы $|\Phi_0|$ принимается вес того тела, для которого определяется значение добавочной силы. При этом остается неясным, почему не учитываются силы, действующие на тело со стороны подвеса (или других контактирующих с ним частей системы). Использование в формулах (4) веса тела представляется неудачным еще и в связи со следующим. По логике само́й причинной механики добавочные силы определяются внутренним взаимодействием в системе, поэтому, казалось бы, они не должны зависеть от внешних условий, в которых находится система. В частности, они не должны зависеть от того, находится система в земной лаборатории, где на нее действует сила тяжести, или в космосе в условиях невесомости. Однако в последнем случае при использовании в качестве силы $|\Phi_0|$ веса тела формулы (4) дают нулевое значение добавочных сил. Эти соображения свидетельствуют о необходимости доработки соответствующего положения причинной механики.

Принятие постулата IV, приписывающего величине c_2 псевдоскалярный характер, осуществлено с очевидной целью — связать различие причины и следствия с различием правого и левого. Из сказанного ранее видно, что это в полной мере достигается постулатом V, причем независимо от постулата IV (последнее следует из того, что смысл постулата V совершенно не меняется при одновременном изменении в нем характера величин u и c_2 с псевдоскалярного на скалярный). Таким образом, вполне можно было бы опустить постулат IV и считать ход времени c_2 и величину u обычными скалярами. Отказаться от постулата IV целесообразно также по той причине, что в этом случае отпадает необходимость приписывать одной из величин δt или δx псевдоскалярный характер, что требовалось бы делать, как следует из формулы (1), при псевдоскалярности величины c_2. Заметим, что в работе [5] допущение о псевдоскаляр-

ности c_2 используется в тех опущенных нами рассуждениях, которые предваряют утверждения, входящие в постулат V.

Н. А. Козырев пишет (с. 343), что между силой действия и силой противодействия нет разрыва во времени, причем здесь подразумеваются и силы, описываемые выражениями (4). Это означает, что причина и следствие воздействуют друг на друга одновременно. При этом остается неясным, как этот результат соотносится с постулатом III о наличии не равного нулю временно́го различия между причиной и следствием. По-видимому, этот вопрос требует дополнительного осмысления.

Следующий постулат может быть сформулирован таким образом.

Постулат VI. *Время наряду с постоянным свойством — ходом c_2 — обладает и переменным свойством — плотностью.*

Н. А. Козырев провел большой цикл исследований этого свойства времени и получил интересные результаты [6, 12, 13]. Однако, учитывая, что ему не удалось ввести количественную характеристику плотности времени, мы считаем, что обсуждать данный постулат преждевременно.

На этом рассмотрение постулатов причинной механики закончим. В целом о них можно сказать, что они существенно дополняют и развивают современные научные представления о времени и причинности; вместе с тем ряд заключенных в них положений требует дальнейшей проработки.

5. Экспериментальное исследование физических свойств времени. «Время представляет собой целый мир загадочных явлений, и их нельзя проследить логическими рассуждениями. Свойства времени должны постоянно выясняться физическими опытами» — эти слова Н. А. Козырева (с. 345) свидетельствуют о том, что ученый придавал экспериментальному исследованию свойств времени первостепенное значение. Об этом говорит и тот факт, что он впервые обнародовал свои представления о времени только после того, как они были подтверждены опытами. Первая работа о свойствах времени была опубликована им в 1958 году [1]. А ранее на протяжении многих лет он развивал теорию и разрабатывал, а потом и осуществлял такие схемы опытов, которые позволяли наблюдать эффекты воздействия времени на объекты нашего мира. Причем экспериментальные исследования ученый начал проводить, как он сам пишет (с. 345), еще зимой 1951—1952 годов.

В нашу задачу не входит анализ экспериментальных исследований Н. А. Козырева. Мы лишь отметим две принципиальные сложности, возникающие при постановке соответствующих опытов. Одна из них непосредственно связана с основами причинной механики. Согласно последней добавочные силы, обусловленные воздействием времени, проявляются в причинно-следственных связях. Это вынуждает вводить в экспериментальную установку, предназначенную для определения добавочных

сил, какой-либо процесс (пропускание электрического тока, тепла, механических колебаний и т. д.). В результате процедура измерения добавочных сил оказывается сложнее процедуры измерения обычных сил, действующих в той же установке при отсутствии процесса. При этом в схемах опытов, разработанных Н. А. Козыревым, процесс вводится прямо в измерительную систему, что, конечно, резко снижает достижимую точность измерений. Между тем измеряемые силы очень малы. Поэтому желательно разработать такие методы измерения добавочных сил, которые позволили бы освободить измерительную систему от воздействия процесса и тем самым повысить точность измерений.

О второй сложности, возникающей при экспериментальном изучении времени, мы уже писали. Она заключается в том, что время не может быть исследовано непосредственно, а только опосредованно через изучение различных физических систем и протекающих в них процессов. Эта особенность приводит к тому, что при интерпретации опытных данных приходится привлекать априорные теоретические соображения о свойствах времени. Главная априорная посылка состоит в допущении, что наблюдаемые эффекты обусловлены именно воздействием времени. Для самого Н. А. Козырева необходимость привлечения такой посылки, разумеется, не могла играть негативной роли. Ученый ставил свои опыты, исходя из определенной теории времени, поэтому полученные в опытах результаты, заранее предсказанные ею, служили для него убедительным доказательством справедливости этой теории. Однако с позиции стороннего наблюдателя, не знакомого с теми обстоятельствами, которые привели Н. А. Козырева к постановке опытов, правильность отмеченной априорной посылки может не быть самоочевидной. Он вполне закономерно может задаться вопросом: «А почему, собственно, нужно считать, что наблюдаемые эффекты вызваны именно свойствами времени, а не какими-то, пусть даже пока еще не известными физическими полями?»

Конечно, наилучшим способом разрешить данный вопрос было бы поставить такой эксперимент, из которого без каких-либо предварительных посылок с неизбежностью следовало бы, что наблюдаемые эффекты обусловлены именно свойствами времени. Однако в силу опосредованного характера их проявлений вполне может оказаться, что поставить такой эксперимент в обычных лабораторных условиях в принципе невозможно. Вместе с тем посредством астрономических наблюдений, скорее всего, могут быть выявлены эффекты, которые бы со всей определенностью свидетельствовали о наличии у времени особых свойств. В этом убеждают результаты астрономических наблюдений Н. А. Козырева и В. В. Насонова [9]. Они наблюдали с помощью разработанных ими датчиков разные космиче-

ские объекты — звезды, галактики, шаровые скопления. Для каждого из наблюдавшихся объектов они зарегистрировали сигналы, идущие от трех мест на небесной сфере: а) от места, совпадающего с видимым положением объекта, т. е. оттуда, где объект находился в далеком прошлом, б) от места, где объект находится в момент наблюдения, в) от места, которое будет занимать объект, когда к нему придет световой сигнал от Земли, испущенный в момент наблюдения. Н. А. Козырев интерпретировал этот результат, как возможность связи посредством физических свойств времени с прошлым и будущим вдоль соответствующих световых конусов и с настоящим вдоль гиперплоскости одномоментных событий [10]. Такая интерпретация хотя и кажется на первый взгляд слишком смелой, все же не лишена оснований. По крайней мере, она не является внутренне противоречивой: так как сами понятия прошлого, настоящего и будущего определяются свойствами времени, то их, по-видимому, хотя бы в принципе, можно определить так, чтобы допускалась связь с ними через время. Вместе с тем всякая попытка объяснить получение сигналов из будущего или настоящего вне зависимости от свойств времени, очевидно, потребовала бы радикальной ломки основ физики.

И, наконец, последнее, что следует сказать об экспериментах. Любая физическая теория становится общепризнанной только после того, как получает неоспоримые подтверждения в опытах, поставленных независимыми исследователями. Однако в настоящее время в научной литературе не имеется каких-либо сведений, которые бы подтверждали или, наоборот, опровергали результаты Н. А. Козырева *. Поэтому для окончательного решения вопроса о природе обнаруженных Н. А. Козыревым явлений необходимо проведение дальнейших экспериментальных исследований. К большому сожалению, после смерти Н. А. Козырева в феврале 1983 года и кончины в марте 1986 года его соратника В. В. Насонова, на протяжении 20 лет помогавшего ученому ставить все эксперименты, руководство Пулковской обсерватории ликвидировало лабораторию Н. А. Козырева. Это было сделано вопреки настоятельным призывам научной общественности сохранить лабораторию и несмотря на то, что была сформирована инициативная группа специалистов, готовая вести эти исследования. Безусловно, исследования, проводившиеся Н. А. Козыревым, должны быть продолжены.

6. Заключение. Главный вывод, который Н. А. Козырев делает на основе причинной механики, состоит в следующем (с. 384, 393, 394).

* Когда книга уже была сдана в издательство, появились сообщения о подтверждении астрономических наблюдений Н. А. Козырева и В. В. Насонова (Докл. АН СССР. 1990. Т. 314. № 2. С. 352; Т. 315. № 2. С. 368).

Время благодаря своим активным свойствам может вносить в наш мир организующее начало и тем противодействовать обычному ходу процессов, ведущему к разрушению организованности и производству энтропии. Это влияние времени очень мало́ в сравнении с обычным разрушающим ходом процессов, однако оно в природе рассеяно всюду, и поэтому имеется возможность его накопления. Такая возможность осуществляется в живых организмах и массивных космических телах, в первую очередь в звездах. Для Вселенной в целом влияние активных свойств времени проявляется в противодействии наступлению ее тепловой смерти.

Н. А. Козырев не успел дать этому выводу строгого теоретического или экспериментального обоснования, поэтому при нынешнем состоянии развития причинной механики данный вывод имеет в значительной мере мировоззренческий характер. Важно, что он, по крайней мере частично, находит подтверждение в философских работах. Так, заключительная его часть, из которой следует ошибочность широко распространенного представления о неизбежности тепловой смерти Вселенной, полностью созвучна положениям материалистической философии. Ф. Энгельс в «Диалектике природы» пишет: «⟨...⟩ излученная в мировое пространство теплота должна иметь возможность каким-то путем, — путем, установление которого будет когда-то в будущем задачей естествознания, — превратиться в другую форму движения, в которой она может снова сосредоточиться и начать активно функционировать. ⟨...⟩ Вот вечный круговорот, в котором движется материя ⟨...⟩» [36, с. 22—23]. Обосновывается это положение тем, что материя не может утратить ни одного из своих атрибутов, она не может стать ни хуже, ни лучше и во всех своих бесконечных превращениях остается вечно одной и той же.

Другое содержащееся в выводе Н. А. Козырева утверждение — о связи времени и жизни — находит подтверждение во взглядах В. И. Вернадского, который, цитируя изречение немецкого философа Георга Зиммеля «время есть жизнь, если оставить в стороне ее содержание», говорит о том, что «почти без изменения это выражение может быть сейчас применено к научной реальности» [35, с. 253].

Резюмируя все сказанное, можно заключить, что причинная механика Н. А. Козырева, не вступая в противоречие ни с одним положением современной физики, гармонично дополняет имеющуюся картину мира. Однако она пока еще не является завершенной теорией. Заслуга Н. А. Козырева в том, что он указал путь изучения времени и прошел сам значительную его часть. Трудно предсказать, что ждет нас в конце этого пути. Но одно несомненно — этот путь должен быть пройден наукой.

Указатель литературы

1.* Козырев Н. А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково, 1958. 90 с.
2.* Козырев Н. А. Причинная механика и возможность экспериментального исследования свойств времени//История и методология естественных наук. Вып. 2: Физика. М., 1963. С. 95—113.
3.* Козырев Н. А. Неизведанный мир//Октябрь. 1964. № 7. С. 183—192.
4.* Козырев Н. А. Путь в космос//Нева. 1969. № 12. С. 167—169.
5.* Kozyrev N. A. On the possibility of experimental investigation of the properties of time//Time in Science and Philosophy. Prague, 1971. P. 111—132. Русск. оригинальный текст: Настоящее издание. С. 335—362.
6.* Козырев Н. А. Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени//Вспыхивающие звезды: Труды симпозиума, приуроч. к открытию 2,6-м телескопа Бюраканской астрофиз. обсерв., Бюракан, 5—8 октября 1976 года. Ереван, 1977. С. 209—227.
7. Козырев Н. А., Насонов В. В. Новый метод определения тригонометрических параллаксов на основе измерения разности между истинным и видимым положением звезды//Астрометрия и небесная механика. М.; Л., 1978. С. 168—179 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 7).
8. Козырев Н. А. Описание вибрационных весов как прибора для изучения свойств времени и анализ их работы//Астрометрия и небесная механика. М.; Л., 1978. С. 582—584 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 7).
9. Козырев Н. А., Насонов В. В. О некоторых свойствах времени, обнаруженных астрономическими наблюдениями//Проявление космических факторов на Земле и звездах. М.; Л., 1980. С. 76—84 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 9).
10. Козырев Н. А. Астрономическое доказательство реальности четырехмерной геометрии Минковского//Проявление космических факторов на Земле и звездах. М.; Л., 1980. С. 85—93 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 9).
11.* Козырев Н. А. Время и жизнь//Тезисы докл. VI Украинской республ. конф. по бионике. Ужгород, 1981. С. 145—146.
12. Козырев Н. А. Время как физическое явление//Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Сб. научн. трудов. Рига, 1982. С. 59—72.
13.* Козырев Н. А. О воздействии времени на вещество//Физические аспекты современной астрономии. Л., 1985. С. 82—91 (Проблемы исследования Вселенной; Вып. 11).
14.* Козырев Н. А. О возможности уменьшения массы и веса тел под воздействием активных свойств времени//Еганова И. А. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск, 1984. С. 92—98. Деп. в ВИНИТИ 27.09.84, № 6423—84 Деп.
15.* Козырев Н. А. Человек и Природа//Настоящее издание. С. 401—409.
16. Александров А. Д. Пространство и время в современной физике//Александров А. Д. Проблемы науки и позиция ученого: Статьи и выступления. Л., 1988. С. 92—119; Теория относительности как теория абсолютного пространства-времени//Там же. С. 120—169.
17. Альберт Эйнштейн и теория гравитации: Сб. статей. М., 1979. 592 с.
18. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: В 10 т. 2: Теория поля. М., 1988. 512 с.
19. Логунов А. А. Лекции по теории относительности и гравитации: Современный анализ проблемы. М., 1987. 272 с.
20. Молчанов Ю. Б. Четыре концепции времени в философии и физике. М., 1977. 192 с.
21. Мостепаненко А. М. Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. Л., 1969. 230 с.
22. Пенроуз Р. Сингулярности и асимметрия по времени//Общая теория относительности. М., 1983. С. 233—295.
23. Подольный Р. Г. Освоение времени. М., 1989. 144 с.
24. Рейхенбах Г. Направление времени. М., 1962. 396 с.
25. Сазанов А. А. Четырехмерный мир Минковского. М., 1988. 224 с.
26. Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. М., 1974. 520 с.
27. Уитроу Дж. Естественная философия времени. М., 1964. 432 с.
28. Фок В. А. Теория пространства, времени и тяготения. М., 1961. 564 с.
29. Чернин А. Д. Физика времени. М., 1987. 222 с.
30. Hawking Stephen W. A brief history of time. From the big bang to black holes. N. Y., 1988. 189 p.
31. Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии. М., 1980. 320 с. (Тр. Биогеохим. лаборатории; Т. 16).
32. Фейнман Р. КЭД — странная теория света и вещества. М., 1988. 144 с.
33. Поляхов Н. Н., Зегжда С. А., Юшков М. П. Теоретическая механика. Л., 1985. 536 с.
34. Кизель В. А. Физические причины диссимметрии живых систем. М., 1985. 120 с.
35. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. М., 1988. 520 с.
36. Энгельс Ф. Диалектика природы. М., 1987. 350 с.

СПИСОК ТРУДОВ Н. А. КОЗЫРЕВА

1. Козырев Н. А. Наблюдения солнечных протуберанцев в 1923—1924 гг.//Мироведение. 1924. Т. 13. № 2(47). С. 181—184.
2. Kosirev N., Ambarzumian V. Eine Methode der Bestimmung der Höhe der Sonnenfackeln nach der Veränderung ihrer Helligkeit//Astron. Nachrichten. 1925—1926. Bd 226. N 5406. S. 93—96.
3. Maltzew W. Beobachtungen der Mondfinsternis am 14. August 1924 auf der Sternwarte des Wissenschaftlichen Instituts von P. Leshaft und der Russischen Gesellschaft der Liebhaber der Weltkunde (Mirowedenije) in Leningrad//Astron. Nachrichten. 1926. Bd 227. N 5438. S. 237—240. (Сообщение о наблюдениях, производившихся совместно с Н. А. Козыревым, чье имя упомянуто в авторском указателе на с. 427).
4. Ambarzumian V., Kosirev N. Über die Beschaffenheit der sichtbaren Sonnenoberfläche//Zeitschrift für Physik. 1926. Bd 39. H. 1. S. 54—68.
5. Kosirev N., Ambarzumian V. Über die Abhängigkeit zwischen $\int \varkappa \rho\, dh$ und der Temperatur in den äußeren Schichten der Sonne//Astron. Nachrichten. 1926—1927. Bd 229. N 5477. S. 85—90.
6. Kosirev N., Ambarzumian V. Über die Temperatur der Sonnenoberfläche//Astron. Nachrichten. 1927. Bd 230. N 5501. S. 89—92.
7. Ambarzumian V., Kosyrev N. et al. Beobachtungen der Sonnenfinsternis vom 29. Juni 1927//Astron. Nachrichten. 1927. Bd 230. N 5519. S. 431—432.
8. Ambarzumian V. A., Kosirev N. A. Some Remarks on the Theory of Radiative Equilibrium in the Outer Layers of the Stars (in reference to the work of Professor E. A. Milne)//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1927. Vol. 87. N 3. P. 209—215.
9. Ambarzumian V. A., Kosirev N. A. Radiative Equilibrium in Inner Layers of Stars//Monthly Notices of the Royal Astron. Society. 1927. Vol. 87. N 8. P. 651—655.
10. Ambarzumian V., Kosirev N. Über die Integralgleichung des Strahlungsgleichgewichts//Zeitschrift für Physik. 1928. Bd 47. H. 7/8. S. 602—607.
11. Kosirev N. A., Ambarzumian V. A. The Structure of the outer Layers of the Stars//Astron. Nachrichten. 1928. Bd 232. N 5563. S. 321—336.
12. Ambarzumian V. A., Kosirev N. A. On the Temperature within the Sun-spots//Astron. Nachrichten. 1928. Bd 233. N 5575. S. 107—112.
13. Kosirev N. A. Einige Bemerkungen über die Methode der Untersuchung der äußeren Schichten der Sterne nebst Anwendung auf die Frage des Aufbaus dieser Schichten bei α Tauri//Astron. Nachrichten. 1929. Bd 236. N 5641. S. 9—12.
14. Амбарцумиан В. А., Козырев Н. А. Замечания по поводу работы В. А. Костицына «К вопросу о лучистом равновесии звездных атмосфер»//Астрон. журнал. 1929. Т. 6. Вып. 1. С. 79—80.
15. Kosirev N. A. Über eine Methode der Lösung von *Hills* Gleichung//Astron. Nachrichten. 1930. Bd 239. N 5735. S. 401—410.
16. Козырев Н. А. О постановке спектрографических исследований солнечных пятен при КИСО: [Тезисы доклада]//Бюл. Комиссии по исслед. Солнца. 1932. № 1. С. 18—19.
17. Козырев Н. А., Амбарцумиан В. А. Температура солнечных факелов//Бюл. Комиссии по исслед. Солнца. 1932. № 2. С. 11—12.
18. Ambarzumian V., Kosirev N. On the spectrum of γ Cassiopeiae//Циркуляры Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1932. № 1. С. 12—14.
19. Kosirev N. Note on the structure of sunspots//Циркуляры Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1932. № 2. С. 3—5.
20. Ambarzumian V., Kosirev N. Note on the Continuous Spectrum of Solar Faculae//Циркуляры Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1932. № 2. С. 6.
21. Kosirev N., Ambarzumian V. Bemerkung über das Spektrum von γ Cassiopeiae//Astron. Nachrichten. 1932. Bd 246. N 5888. S. 171.
22.* Ambarzumian V., Kosirev N. Über die Massen der von den neuen Sternen ausgestoßenen Gashüllen//Zeitschrift für Astrophysik. 1933. Bd 7. H. 4. S. 320—325. Рус. пер.: О массах газовых оболочек, выброшенных новыми звездами//Амбарцумян В. А. Научные труды: В 2 т. Ереван, 1960. Т. 1. С. 72—77.
23. Kosirev N. Note on the Depth of Sunspots//Циркуляры Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1933. № 6. С. 3—9.
24. Козырев Н. А. Спектрофотометрия//Курс астрофизики и звездной астрономии. Ч. 1: Методы астрофизических и астрофотографических исследований/ Под ред. Б. П. Герасимовича. 1934. Гл. 4. С. 266—314.
25.* Kosirev N. A. Radiative Equilibrium of the Extended Photosphere//Monthly Notices of the Royal Astron. Society. 1934. Vol. 94. N 5. P. 430—443.
26. Козырев Н. А. О лучевом равновесии земной атмосферы//Тр. Всесоюз. конф. по изучению стратосферы, Ленинград, 31 марта—6 апреля 1934 г. Л.; М., 1935. С. 453—456.
27. Eropkin D. I., Kozirev N. A. Spectrophotometry of the Night Sky and Zodiacal Light//Циркуляры Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1935. № 13. С. 21—25.
28 Kosirev N. A., Eropkin D. I. Spectrophotometry of Aurora Borealis with Special Reference to the Sunlit Aurorae//Циркуляры Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1936. № 18. С. 25—29.
29. Козырев Н. А. Задачи наблюдений солнечной короны//Мироведение. 1936. Т. 25. № 3. С. 61—64, 96.
30. Козырев Н. А. Тезисы диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук «Теория внутреннего строения звезд как основа исследования природы звездной энергии»/Ленингр. гос. университет. Л., [1947]. 4 с.
31. Козырев Н. А. Внутреннее строение звезд на основе наблюдательных данных//Вестн. Ленингр. ун-та. 1948. № 11. С. 32—35.
32.* Козырев Н. А. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1948. Т. 2. С. 3—43.
33.* Козырев Н. А. Возможная асимметрия в фигурах планет//Докл. АН СССР. 1950. Т. 70. № 3. С. 389—392.
34. Козырев Н. А. Возможная асимметрия в фигурах планет//Природа. 1950. № 8. С. 51—52.
35.* Козырев Н. А. Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1951. Т. 6. С. 54—83.

36.* Козырев Н. А. О внутреннем строении больших планет//Докл. АН СССР. 1951. Т. 79. № 2. С. 217—220.
37. Козырев Н. А. Новая неолитическая стоянка, обнаруженная в Ленинградской области//Советская археология. 1952. Т. 16. С. 299—301.
38. Козырев Н. А. О свечении ночного неба Венеры//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1954. Т. 12. С. 169—176.
39. Козырев Н. А. Молекулярное поглощение в фиолетовой части спектра Венеры//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1954. Т. 12. С. 177—181.
40. Козырев Н. А. Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1955. Т. 15. С. 147—152.
41. Козырев Н. А. О присутствии в атмосфере Земли и других планет неотождествленной молекулы атмосферы Венеры//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1955. Т. 15. С. 160—168.
42.* Козырев Н. А. Люминесценция лунной поверхности и интенсивность корпускулярного излучения Солнца//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1956. Т. 16. С. 148—158.
43. Козырев Н. А. Спектральные исследования планет земной группы на 50-дюймовом рефлекторе Крымской обсерватории//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1956. Т. 16. С. 215—216.
44. Kozyrev N. A. On the absorption bands of unknown origin//Les Molécules dans les Astres. Communications présentées au septième Colloque International d'Astrophysique tenu à Liège les 12, 13 et 14 juillet 1956. Cointe-Sclessin (Belgique), 1957. P. 147. (Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège. Sér. 4. T. 18, fasc. 1; Mémoires de l'Institut d'Astrophysique Université de Liège. N 386).
45. Козырев Н. А. О ходе времени нашего мира: Резюме доклада на очередной сессии Отделения физ.-мат. наук АН СССР, состоявшейся 14—15 мая 1957 г. в Ин-те физич. проблем им. С. И. Вавилова//Вестн. АН СССР. 1957. № 7. С. 74—75.
46.* Козырев Н. А. Причинная или несимметричная механика в линейном приближении. Пулково, 1958. 90 с.
47.* Козырев Н. А. О некоторых свойствах атмосферы Марса по спектрофотометрическим наблюдениям 1956 года//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1958. Т. 18. С. 61—65.
48. Козырев Н. А. О вулканической деятельности на Луне//Астрон. циркуляр. 1958. № 197. С. 4.
49.* Козырев Н. А. Вулканическая деятельность на Луне//Природа. 1959. № 3. С. 84—87.
50. Kozyrev N. A., Vulkanická činnost na Měsíci//Pokroky matematiky, fysiky a astronomie. 1959. Ročník 4, číslo 6. S. 704—708.
51. Козырев Н. А. Лунный вулкан//Знание — сила. 1959. № 3. С. 18—19.
52. Kozyrev N. A. Observation of a volcanic process on the Moon//Sky and Telescope. 1959. Vol. 18. N 4. P. 184—186.
52.а Kozyrev N. A. [Letter]//Sky and Telescope. 1959. Vol. 18. N 10. P. 561.
52.б Козырев Н. А. [Выступление в дискуссии]//Тр. Второго съезда Всесоюз. астрон.-геодез. общества, Ленинград, 25—31 января 1955 г. М., 1960. С. 49.
53. Козырев Н. А. Замечание к статье Т. А. Положенцевой «О состоянии кратера Альфонс до начала извержения 3 ноября 1958 г.»//Изв. комис. по физике планет. 1961. Вып. 3. С. 49.
54. Козырев Н. А. Ночное свечение нижних слоев атмосферы Венеры//Астрон. циркуляр. 1961. № 225. С. 4—6.
55. Козырев Н. А. Загадка «утренней звезды»//Наука и жизнь. 1961. № 5. С. 27—28.
56. Козырев Н. А. На Венеру, в космос!//Нева. 1961. № 5. С. 163—165.
57. Козырев Н. А. Ночное свечение нижних слоев атмосферы Венеры//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1962. Т. 22. Вып. 5. № 170. С. 132—135.
58. Козырев Н. А. О существовании вулканической деятельности на

Луне//Вопросы вулканизма: Тр. Первого Всесоюз. вулканолог. совещания, Ереван, 23 сентября—2 октября 1959 г. М., 1962. С. 72—73.
59. Kozyrev N. A. Physical observations of the lunar surface//Physics and Astronomy of the Moon/Ed. by Z. Kopal. N. Y.; L., 1962. Chapter 9. P. 361—383.
60. Козырев Н. А. Спектральные доказательства существования вулканических процессов на Луне//Новое о Луне: Докл. и сообщ. на Междунар. симпоз. по исследов. Луны, Пулково, 6—10 декабря 1960 г. М.; Л., 1963. С. 199—208. Англ. пер.: Kozyrev N. A. Spectroscopic proofs for existence of volcanic processes on the Moon//The Moon: [Proceedings of] Symposium N 14 of The International Astronomical Union held at Pulkovo observatory near Leningrad, December 1960. L.; N. Y., 1962. P. 263—271.
61. Козырев Н. А. Вулканическая активность кратера Аристарх на Луне//Астрон. циркуляр. 1963. № 274. С. 1—2.
62. Козырев Н. А. Загадка кратера Аристарх//Известия. 1963. № 57. 8 марта. С. 4.
63. Тайны кратера Аристарх: [Беседа с астрономом Н. А. Козыревым]/Записал Л. Владимиров//Знание — сила. 1963. № 3. С. 27.
64. Kozyrev N. Volcanic Phenomena on the Moon//Nature. 1963. Vol. 198. N 4884. P. 979—980.
65.* Козырев Н. А. Причинная механика и возможность экспериментального исследования свойств времени//История и методология естественных наук. Вып. 2: Физика. М., 1963. С. 95—113.
66. Козырев Н. А. Ссылка на мои исследования неправильна//Техника — молодежи. 1963. № 3. С. 26.
67. Kozyrev N. The atmosphere of Mercury//The Journal of the British Astron. Association. 1963. Vol. 73. N 8. P. 345—346.
68. Kozyrev N. A. The atmosphere of Mercury//Sky and Telescope. 1964. Vol. 27. N 6. P. 339—341.
69. Козырев Н. А. Спектральные признаки существования снега и льда в атмосфере Марса//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1964. Т. 23. Вып. 5. № 175. С. 72—74.
70. Козырев Н. А. Спектральные признаки выхода молекулярного водорода в районе кратера Аристарха на Луне//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1964. Т. 24. Вып. 1. № 177. С. 99—101.
71.* Козырев Н. А. Неизведанный мир//Октябрь. 1964. № 7. С. 183—192.
72.* Kozyrev N. A. Volcanism on the planets//Tectonophysics. 1964—1965. Vol. 1. N 5. P. 451—454.
73. Kozyrev N. An unexplored world//Soviet Life. 1965. N 11 (November). P. 27, 43—45.
74. Козырев Н. А. Свечение ночного неба Венеры. (Тезисы доклада)//Вопросы астрофизики (исследование атмосфер Венеры и Марса). Киев, 1965. С. 12—13.
75. Козырев Н. А. Цвет Марса, как результат оптических свойств его атмосферы. (Тезисы доклада)//Вопросы астрофизики (исследование атмосфер Венеры и Марса). Киев, 1965. С. 91—92.
76. Козырев Н. А. Спектральные исследования вулканических явлений на Камчатке//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1966. Т. 24. Вып. 4. № 180. С. 76—82.
77. Kozyrev N. A. Physical peculiarities of the components of double stars//Colloque "On the evolution of double stars", Uccle (Belgique), 29 août—2 septembre 1966: Comptes rendus/Union Astronomique Internationale (IAU). 1967. P. 197—202, 212, 252 (Communications/Observatoire Royal de Belgique; Sér. B. N 17).
78. Козырев Н. А. Водяной пар в кольце Сатурна и его тепличный эффект на поверхности планеты//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1968. № 184. С. 99—107.
79.* Козырев Н. А. Особенности физического строения компонент двой-

ных звезд//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1968. № 184. С. 108—115.
80. «...Вселенной внутренняя связь»: [Интервью Н. А. Козырева]/Записал А. Харьковский//Техника — молодежи. 1968. № 12. С. 16—18.
81.* Козырев Н. А. Путь в космос//Нева. 1969. № 12. С. 167—169.
82. Козырев Н. А. Красное пятно внутри лунного кратера Аристарх 1 апреля 1969 г.//Астрон. журн. 1970. Т. 47. Вып. 1. С. 179—181.
83. Kozyrev N. A. Relationships of tectonic processes of the Earth and Moon//Geological Problems in Lunar and Planetary Research: Proceedings of AAS/IAP Symposium Held at Huntington Beach, California, January 1968 and February 1969, and at Las Vegas, Nevada, April 1968/Ed. by J. Green. Tarzana (California), 1971. P. 213—227 (An American astronautical society publication. AAS science and technology series; Vol. 25).
84.* Козырев Н. А. О связи тектонических процессов Земли и Луны//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1971. № 186. С. 81—87.
85. Козырев Н. А. Общий пульс Земли и Луны//Техника — молодежи. 1971. № 4. С. 50—51.
86.* Kozyrev N. A. On the possibility of experimental investigation of the properties of time//Time in Science and Philosophy. Prague, 1971. P. 111—132.
87. Kozyrev N. A. On the interaction between tectonic processes of the Earth and the Moon//The Moon: [Proceedings of] Symposium N 47 of The International Astronomical Union held at University of Newcastle-upon-Tyne, England, 22—26 march 1971. Dordrecht-Holland, 1972. P. 220—225.
88. Козырев Н. А. Атмосфера Меркурия по наблюдениям прохождения его по диску Солнца 10 ноября 1973 г.//Астрон. циркуляр. 1974. № 808. С. 5—6.
89. Kozyrev N. A. East-West asymmetry of Saturn's Ring//Astrophysics and Space Science. 1974. Vol. 27. N 1. P. 111—116.
90. Козырев Н. А. Внутреннее строение Юпитера//Астрон. журн. 1977. Т. 54. Вып. 2. С. 372—377.
91.* Козырев Н. А. Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени//Вспыхивающие звезды: Труды симпозиума, приуроч. к открытию 2,6-м телескопа Бюраканской астрофиз. обсерв., Бюракан, 5—8 октября 1976 года. Ереван, 1977. С. 209—227.
92. Козырев Н. А., Насонов В. В. Новый метод определения тригонометрических параллаксов на основе измерения разности между истинным и видимым положением звезды//Астрометрия и небесная механика. М.; Л., 1978. С. 168—179 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 7).
93. Козырев Н. А. Описание вибрационных весов как прибора для изучения свойств времени и анализ их работы//Астрометрия и небесная механика. М.; Л., 1978. С. 582—584 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 7).
94. Козырев Н. А., Насонов В. В. О некоторых свойствах времени, обнаруженных астрономическими наблюдениями//Проявление космических факторов на Земле и звездах. М.; Л., 1980. С. 76—84 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 9).
95. Козырев Н. А. Астрономическое доказательство реальности четырехмерной геометрии Минковского//Проявление космических факторов на Земле и звездах. М.; Л., 1980. С. 85—93 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 9).
96.* Козырев Н. А. Время и жизнь//Тезисы докл. VI Украинской республ. конф. по бионике. Ужгород, 1981. С. 145—146.
97. Козырев Н. А. Время как физическое явление//Моделирование и прогнозирование в биоэкологии: Сб. научн. трудов. Рига, 1982. С. 59—72.
98.* Козырев Н. А. О возможности уменьшения массы и веса тел под воздействием активных свойств времени//Еганова И. А. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск, 1984. С. 92—98. Деп. в ВИНИТИ 27.09.84, № 6423—84 Деп.
99.* Козырев Н. А. О воздействии времени на вещество//Физические аспекты современной астрономии. Л., 1985. С. 82—91 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 11).
100.* Козырев Н. А. Природа звездной энергии на основе анализа наблюдательных данных//Настоящее издание. С. 191—204.
101.* Козырев Н. А. Человек и Природа//Настоящее издание. С. 401—409.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ О Н. А. КОЗЫРЕВЕ И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЯХ

А. Справочные издания; официальные сообщения

Отчеты обсерваторий и институтов. Главная астрономическая обсерватория СССР в Пулкове с отделением в Симеизе/Подписано: Директор ГАО проф. Герасимович//Астрон. журн. 1935. Т. 12. Вып. 3. С. 283.
Отчеты обсерваторий и институтов. Отчет о деятельности Главной астрономической обсерватории СССР в Пулкове с отделениями в Николаеве и Симеизе за 1935 г./Подписано: Директор ГАО проф. Б. П. Герасимович// Астрон. журн. 1936. Т. 13. Вып. 3. С. 268.
Отчеты обсерваторий и институтов. Отчет о деятельности астрономической обсерватории Ленинградского государственного университета за 1936 г./ Подписано: Директор астрон. обсерв. ЛГУ проф. М. Ф. Субботин//Астрон. журн. 1937. Т. 14. Вып. 3. С. 260, 261.
Список диссертаций, защищенных в Ленинградском университете в 1947 г.// Вестн. Ленингр. университета. 1948. № 1. С. 167.
World Who's Who in Science. A biographical dictionary of notable scientists from antiquity to the present. Chicago, Illinois: Marquis — Who's Who, Inc., 1968. P. 965.
Публикация об открытиях, зарегистрированных в Государственном реестре открытий СССР//Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. 1970. № 10. 9 марта. С. 4, 5.
Явление вулканической деятельности на Луне//Открытия в СССР. 1968—1969 гг. М., 1970. С. 7, 8.
Награда советскому ученому//Земля и Вселенная. 1970. № 6. С. 43.
Награда за исследование Луны/ТАСС//Правда. 1970. № 284. 11 октября. С. 2.
Колчинский И. Г., Корсунь А. А., Родригес М. Г. Астрономы: Биографический справочник. Киев, 1977. С. 124—125, 343; 1986. С. 157—158, 417.
[Извещение о смерти]/Дирекция Главной астрономической обсерватории АН СССР//Ленинградская правда. 1983. № 50. 2 марта. С. 4.
Cruikshank Dale P. N. A. Kozyrev (1908—83)//Sky & Telescope. 1983. Vol. 65. N 6. P. 485, 486.
Дейч А. Н. Памяти Николая Александровича Козырева//Земля и Вселенная. 1984. № 1. С. 50, 51.
[Официальное сообщение о присвоении малой планете № 2536 имени Козырева]//Minor Planet Circulars/The International Astronomical Union. 1986. N 10546. 26 march.

Осипов Н. Имена малым планетам//Ленинградская правда. 1986. № 102. 30 апреля. С. 1.
Наука и техника СССР. 1917—1987 гг. Хроника. М., 1988. С. 169.
Явление вулканической деятельности на Луне (№ 76)//Конюшая Ю. П. Открытия советских ученых. Ч. 1: Физико-технические науки. М., 1988. С. 82.
В защиту осужденных астрономов/Публикация В. Д. Есакова//На рубежах познания Вселенной. М., 1990. С. 467—472 (Историко-астрон. исследования; Вып. 22).
Официальные данные о судьбе пулковских астрономов. [Справка]//На рубежах познания Вселенной. М., 1990. С. 482—490 (Историко-астрон. исследования; Вып. 22).

Б. Научные и научно-популярные издания

[От редакции]//Мироведение. 1936. Т. 25. № 3. С. 3.
Масевич А. Г., Паренаго П. П. Исследование зависимости масса—светимость—радиус. Ч. 2: Теоретическая интерпретация эмпирических зависимостей//Труды Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. 1951. Т. 20. С. 130—146.
Масевич А. Г. [Рецензия на работу] Н. А. Козырев. Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд, ч. 1. Изв. Крымской астрофиз. обсерв., 2. С. 3, 1948; ч. 2. Там же, 6. С. 54, 1951//Вопросы космогонии. Т. 1. М., 1952. С. 247—258.
Тихов Г. А. По поводу статьи Н. А. Козырева «Объяснение цвета Марса спектральными свойствами его атмосферы»//Изв. Крымск. астрофиз. обсерв. 1956. Т. 16. С. 159—161.
Kuiper G. P. [Letter]//Sky and Telescope. 1959. Vol. 18. N 6. P. 307.
Margerison T. "Causal mechanics": a Russian scientific controversy//The New Scientist (London). 1959. Vol. 6. N 158. 26 november. P. 1073—1075.
Амбарцумян В. А. [Выступление в дискуссии]//Тр. Второго съезда Всесоюз. астрон.-геодез. общества, Ленинград, 25—31 января 1955 г. М., 1960. С. 51.
Амбарцумян В. А. Научные труды: В 2 т./Под ред. В. В. Соболева. Ереван, 1960. Т. 1. С. 72; Т. 2. С. 356—357.
Warner B. The emission spectrum of the night side of Venus//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1960. Vol. 121. N 3. P. 279—283.
Urey H. C. On possible parent substances for the C_2 molecules observed in the Alphonsus crater//The Astrophysical Journal. 1961. Vol. 134. N 1. P. 268—269.
Положенцева Т. А. О состоянии кратера Альфонс до начала извержения 3 ноября 1958 г.//Известия комиссии по физике планет. 1961. Вып. 3. С. 46—49.
Поттер Х. И., Стругацкий Б. Н. К вопросу об асимметрии фигур больших планет//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1962. Т. 23. Вып. 1. № 171. С. 145—150.
Новое о Луне: Доклады и сообщения на Международном симпозиуме по исследованию Луны, Пулково, 6—10 декабря 1960 г. М.; Л., 1963. С. 33, 38, 110, 162, 163, 165, 167, 194, 195, 196, 208—220, 257, 298, 301, 335, 341. Англ. пер.: The Moon: [Proceedings of] Symposium N 14 of The International Astronomical Union held at Pulkovo observatory near Leningrad, December 1960. L.; N. Y., 1962. P. 46, 52, 145, 217, 220, 224, 256, 257, 259, 273—287, 342, 404, 407, 446, 447, 452, 569.
Baldwin R. B. The Measure of the Moon. Chicago, 1963. P. 261, 262, 267. 303, 313, 416, 417, 418, 419, 478.
Middlehurst B. M. An analysis of lunar events//Reviews of Geophysics. 1967. Vol. 5. N 2. P. 173—189.
Middlehurst B. M., Burley J. M., Moore P., Welther B. L. Chronological catalog of reported lunar events//NASA Technical Report. 1968. [Vol.] R-277. 55+IV p.

Крат В. А. Примечания к статье Н. А. Козырева «Особенности физического строения компонент двойных звезд»//Изв. Гл. астрон. обсерв. в Пулкове. 1968. № 184. С. 116.
Ostrander S., Schroeder L. Psychic discoveries behind the iron curtain. Englewood Cliffs (USA), 1970. P. 45, 149—157, 371, 397, 419.
Физика Луны и планет: Международный симпозиум, г. Киев, 15—22 октября 1968 г. М., 1972. С. 7, 191, 338, 457.
Гулиа Н. В. Инерция. М., 1982. С. 144.
Коломбет В. А. Феноменологическое построение рекурсивного варианта единой теории. Пущино, 1984. С. 30, 34. Деп. в ВИНИТИ 13.07.84, № 5074-84 Деп.
Еганова И. А. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск, 1984. 137 с. Деп. в ВИНИТИ 27.09.84, № 6423-84 Деп.
Данчаков В. М. Некоторые биологические эксперименты в свете концепции времени Н. А. Козырева//Еганова И. А. Аналитический обзор идей и экспериментов современной хронометрии. Новосибирск, 1984. С. 99—134. Деп. в ВИНИТИ 27.09.84, № 6423-84 Деп.
Лаврентьев М. М. К статье Н. А. Козырева «О воздействии времени на вещество»//Физические аспекты современной астрономии. Л., 1985. С. 92—93 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 11).
Шафрановский И. И. Симметрия в природе. 2-е изд. Л., 1985. С. 148, 151, 152.
Воронцов-Вельяминов Б. А. Астрономия: Учебник для 10 класса средней школы. М., 1987. С. 68.
Данчаков В. М., Еганова И. А. Микрополевые эксперименты в исследовании воздействия физического необратимого процесса. Новосибирск, 1987. С. 2, 3, 5, 107. Деп. в ВИНИТИ 09.12.87, № 8592-В87.
Чернин А. Д. Физика времени. М., 1987. С. 201 (Библиотечка «Квант»; Вып. 59).
Каттерфельд Г. Н., Галибина И. В. Основные проблемы астрономической геологии//Космическая антропоэкология: техника и методы исследований: Материалы Второго Всесоюз. совещания по космической антропоэкологии, Ленинград, 2—6 июня 1984 г. Л., 1988. С. 164, 175, 178.
Мартынов Д. Я. Курс общей астрофизики. 4-е изд. М., 1988. С. 528, 628.
Шихобалов Л. С. Возможная интерпретация физических свойств времени, исследованных Н. А. Козыревым, с позиции механики//В. И. Вернадский и современная наука: Тез. докл. Международного симпозиума, посвященного 125-летию со дня рождения В. И. Вернадского, Ленинград, 4 марта 1988 г. Л., 1988. С. 104—106.
Шихобалов Л. С. О направленности времени. Л., 1988. С. 10, 13—16. Деп. в ВИНИТИ 01.12.88, № 8489-В88.
Коротаев С. М. Новые подходы к проблеме времени//Земля и Вселенная. 1989. № 2. С. 54.
Зильберман М. Ш. О корреляции плотности истинных предсказаний в числовых лотереях с солнечной активностью и тестом Пиккарди. Л., 1989. С. 2, 16. Деп. в ВИНИТИ 12.05.89, № 3168-В89.
Арушанов М. Л., Коротаев С. М. Поток времени как физическое явление (по Н. А. Козыреву). М., 1989. 42 с. Деп. в ВИНИТИ 22.12.89, № 7598—В89.
Левич А. П. Время как изменчивость естественных систем и как способ ее параметризации. М., 1989. С. 9, 10, 49, 58—60, 95. Деп. в ВИНИТИ 22.12.89, № 7599—В89.
Подольный Р. Г. Освоение времени. М., 1989. С. 53—54.
Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. Л., 1990. С. 254, 503.
Кардашева-Уляхина А. Время как проблема естествознания и культуры. (Попытка философского обоснования ценности проблемы времени как «сквозной»)//Естествознание: системность и динамика. (Методол. очерки) М., 1990. С. 236—238, 240, 248, 249.

Лаврентьев М. М., Еганова И. А., Луцет М. К., Фоминых С. Ф. О дистанционном воздействии звезд на резистор//Докл. АН СССР. 1990. Т. 314. № 2. С. 352—355.
Лаврентьев М. М., Гусев В. А., Еганова И. А., Луцет М. К., Фоминых С. Ф. О регистрации истинного положения Солнца//Докл. АН СССР. 1990. Т. 315. № 2. С. 368—370.
Лаврентьев М. М., Еганова И. А., Луцет М. К., Фоминых С. Ф. О регистрации реакции вещества на внешний необратимый процесс//Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. № 3. С. 635—639.

В. Историко-астрономические исследования

Астрономия [в СССР за 15 лет]/Под ред. А. А. Канчеева. М.; Л., 1932. С. 10, 73, 166, 167 (Наука в СССР за пятнадцать лет. 1917—1932).
Астрономия в СССР за тридцать лет. 1917—1947. М.; Л., 1948. С. 105, 114, 119, 122, 124, 159, 161, 163, 167, 171, 183, 222, 245, 248, 255—257, 277, 291.
Добронравин П. П. Крымская астрофизическая обсерватория Академии наук СССР//Вестн. Акад. наук СССР. 1949. № 10. С. 52.
Добронравин П. П. Крымская астрофизическая обсерватория Академии наук СССР. М., 1955. С. 65, 66.
Дадаев А. Н. Пулковская обсерватория. М.; Л., 1958. С. 21.
Астрономия в СССР за сорок лет. 1917—1957. М., 1960. С. 26, 27, 84, 85, 141, 142, 147, 150, 153, 213, 266, 271, 290, 291, 299, 311, 318, 329, 438, 453, 462, 463, 522, 524, 535, 629, 630, 634, 643, 710, 725.
Развитие астрономии в СССР. 1917—1967 гг. М., 1967. С. 94, 97, 101, 102, 106, 108, 159, 200, 210, 435, 450.
Еремеева А. И. Основные вехи жизни и деятельности Б. П. Герасимовича//Научные семинары. (Информационное сообщение № 19)/Комиссия по истории астрономии Астрономического совета АН СССР. М., 1969. С. 15—16.
Дадаев А. Н. Пулковская обсерватория: Очерк истории и научной деятельности. Л., 1972. С. 68, 69, 103—106, 131.
Луцкий В. К. История астрономических общественных организаций в СССР (1888—1941 гг.). М., 1982. С. 99, 154, 253.
Мартынов Д. Я. Астрономия в Казанском университете в 20-е годы// Историко-астрон. исследования. Вып. 16. М., 1983. С. 434.
Гневышев М. Н. История службы Солнца//Историко-астрон. исследования. Вып. 17. М., 1984. С. 168.
Мартынов Д. Я. Пулковская обсерватория в годы 1926—1933. (Из воспоминаний «Полстолетия у телескопа»)//Историко-астрон. исследования. Вып. 17. М., 1984. С. 425, 426, 439—442, 445.
Дадаев А. Н. Первооткрыватель лунного вулканизма (к 75-летию Николая Александровича Козырева)//Физические аспекты современной астрономии. Л., 1985. С. 8—24 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 11).
Бронштэн В. А. Журнал «Мироведение» в московский период (1930—1937 гг.)//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 20. М., 1988. С. 391.
Михайлов А. А., Мельников О. А. Славные страницы истории//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 20. М., 1988. С. 23, 33.
Абалакин В. К. Главной (Пулковской) астрономической обсерватории Академии наук СССР — полтора века: к истории основания//150 лет Пулковской обсерватории. Л., 1989. С. 13—14.
Гневышев М. Н. Свершения и тревоги Пулкова. (Страницы воспоминаний)//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 21. М., 1989. С. 349, 350, 352, фотовклейка перед с. 353.
Дадаев А. Н. Астроном трагической судьбы. (К 100-летию со дня рождения Б. П. Герасимовича)//Проблемы построения координатных систем в астрономии. Л., 1989. С. 52, 54, 57, 62, 63 (Пробл. исслед. Вселенной; Вып. 12).

Дадаев А. Н. Второе рождение Пулкова//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 21. М., 1989. С. 45, 46.

Еремеева А. И. Борис Петрович Герасимович (к 100-летию со дня рождения)//Земля и Вселенная. 1989. № 2. С. 37, 40, 41.

Еремеева А. И. Жизнь и творчество Бориса Петровича Герасимовича. (К 100-летию со дня рождения)//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 21. М., 1989. С. 282, 284—286, 292, 293.

Еремеева А. И., Цицин Ф. А. История астрономии (основные этапы развития астрономической картины мира). М., 1989. С. 324, 325, 327, 338.

Из пулковской истории/Д. Е. Щеголев//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 21. М., 1989. С. 389.

Коротцев О. Н. Звезды Пулкова: Очерки о Пулковской обсерватории и астрономах-пулковцах. Л., 1989. Гл. 6: Старые и новые загадки Луны. С. 169—173.

Крат Т. В. Пережитое. (Пулковская обсерватория в 1938—1954 гг.)//Историко-астрон. исследования. Минувшее, современность, прогнозы. Вып. 21. М., 1989. С. 372, 373.

Сидоровский Л. Звезды и тернии: Рассказ о ленинградских астрономах, ставших жертвами сталинского беззакония//Смена. 1989. № 75. 31 марта. С. 2.

Успенская Н. В. Вредительство ... в деле изучения солнечного затмения//Природа. 1989. № 8. С. 91, 94—97.

Щербаков А. «К высшей мере — условно!..»//Смена. 1989. № 117. 20 мая. С. 2.

McCutcheon R. A. Stalin's Purge of Soviet Astronomers//Sky and Telescope. 1989. Vol. 78. N 4. P. 352—357.

Бронштэн В. А. Разгром Общества любителей мироведения//Природа. 1990. № 10. С. 122.

Бронштэн В. А. «Раковая опухоль»//На рубежах познания Вселенной. М., 1990. С. 310 (Историко-астрон. исследования; Вып. 22).

Гаген-Торн В. А. Университетское астрономическое образование в СССР в 1917—1980 годы//На рубежах познания Вселенной. М., 1990. С. 43 (Историко-астрон. исследования; Вып. 22).

Горелик Г. Е., Френкель В. Я. Матвей Петрович Бронштейн: 1906—1938. М., 1990. С. 30, 33, 35, 36, 227, 267.

Орлова О. Н., Шахт Н. А. Александр Николаевич Дейч (1899—1986)//На рубежах познания Вселенной. М., 1990. С. 365 (Историко-астрон. исследования; Вып. 22).

Г. Популярные, публицистические, художественные произведения; отдельные упоминания имени Н. А. Козырева

Е. С. Пыль и ультрафиолетовые лучи//Коммунист Таджикистана. 1935. № 276. 2 декабря. С. 4.

Славентантор Д. Рыцари раболепия//Ленингр. Правда. 1936. № 164. 18 июля. С. 3.

«Рыцари раболепия»//Ленингр. Правда. 1936. № 184. 11 августа. С. 3.

Нежданов А., Славентантор Д. Еще раз о пулковских нравах//Ленингр. Правда. 1936. № 197. 27 августа. С. 3.

Извержение вулкана на Луне: наблюдения ленинградского ученого//Вечерний Ленинград. 1958. № 265. 12 ноября. С. 3.

Извержение вулкана на Луне// Ленингр. правда. 1958. № 266. 13 ноября. С. 4.

Чрезвычайно важное открытие/ТАСС (Стокгольм)//Вечерний Ленинград. 1958. № 268. 15 ноября. С. 4.

Чрезвычайно важное открытие//Ленингр. правда. 1958. № 269. 16 ноября. С. 4.

Кучеров Н. Телескопы направлены на Марс//Ленингр. правда. 1958. № 270. 18 ноября. С. 4.

Карышев О. Лунная дискуссия//Ленингр. правда. 1958. № 271. 19 ноября. С. 4.

Львов В. Луна — первый этап//Вечерний Ленинград. 1958. № 273. 21 ноября. С. 2; № 274. 22 ноября. С. 2.

Новые явления на Луне: Лекция Н. А. Козырева//Вечерний Ленинград. 1958. № 276. 25 ноября. С. 1.

Силы хода времени//Уральский рабочий. 1958. № 276. 26 ноября. С. 4.

Усовершенствованная телеустановка в Пулково//Ленингр. правда. 1958. № 279. 28 ноября. С. 4.

Вулканическое извержение на Луне//Социалистический Донбасс. 1958. № 282. 3 декабря. С. 4.

Львов В. Новые горизонты науки: К теоретическим работам профессора Н. А. Козырева//Вечерний Ленинград. 1958. № 297. 20 декабря. С. 4.

Львов В. Проверка теории Козырева//Вечерний Ленинград. 1959. № 120. 23 мая. С. 2.

Келер Вл. Река времени//Техника — молодежи. 1959. № 8. С. 8—11.

Биленкин Д. Тайна времени//Комсомольская правда. 1959. № 208. 4 сентября. С. 4.

Львов В. Революция в физике продолжается//Литературная газета. 1959. № 118. 24 сентября. С. 2.

Шагинян М. Время с большой буквы//Литературная газета. 1959. № 135. 3 ноября. С. 2—4.

Hillaby J. Russian's theory on time assayed//The New York Times. 1959. Vol. 109. N 37189. 19 november. L. 22.

Арцимович Л., Капица П., Тамм И. О легкомысленной погоне за научными сенсациями//Правда. 1959. № 326. 22 ноября. С. 3.

Корец М. А. О «причинной механике» Н. А. Козырева//Природа. 1960. № 7. С. 124.

Львов В. Теория Козырева — научный спор//Нева. 1960. № 7. С. 141—150.

Астрономы на действующих вулканах//Вечерний Ленинград. 1962. № 147. 23 июня. С. 1.

[Б. а., Б. н.]/ТАСС//Труд. 1962. № 222. 20 сентября. С. 3.

Рейн Е. Как любить земной шар?//Смена [журнал]. 1963. № 4. С. 12—13.

Стволинский Ю. Открытие профессора Козырева//Ленинградская правда. 1970. № 221. 19 сентября. С. 2.

Земля—Луна: сейсмический дуэт//Правда. 1971. № 251. 8 сентября. С. 3.

Стволинский Ю. Вулканы Селены//Аврора. 1971. № 9. С. 54—58.

[Б. а., Б. н.]/ЛенТАСС//Вечерний Ленинград. 1974. № 65. 19 марта. С. 2.

Рейн Е. Близкие расстояния астронома Козырева//Аврора. 1975. № 12. С. 65—67.

Томилин А. Н. Занимательно о космогонии. Книга очерков о гипотезах, которые создавали люди, чтобы объяснить себе происхождение планет, звезд и галактик, а также о некоторых создателях этих гипотез — от древних философов и жрецов до современных астрономов, физиков и математиков. М., 1975. С. 187—199 (Эврика).

Перфилова О. А. Вечно молодая Вселенная//Техника — молодежи. 1976. № 5. С. 42—45.

Валентинов А. Вечный маятник Вселенной//Социалистическая индустрия. 1977. № 271. 20 ноября. С. 4.

Мохов К. Рассуждая «в левой системе координат...»//Коммунист. 1978. № 4. С. 104—105.

Линник Ю. В. Основа: Стихи. Петрозаводск, 1979. С. 72—84.

Вознесенский А. А. Астрофизик//Вознесенский А. Витражных дел мастер: Стихи. М., 1980. С. 103 (Библиотека произведений, удостоенных Государственной премии СССР).

Вознесенский А. А. «Есть русская интеллигенция...»//Вознесенский А. Витражных дел мастер: Стихи. М., 1980. С. 40—41 (Библиотека произведений, удостоенных Государственной премии СССР).

Вознесенский А. А. «Живите не в пространстве, а во времени...»//Вознесенский А. Витражных дел мастер: Стихи. М., 1980. С. 131 (Библиотека произведений, удостоенных Государственной премии СССР).
Валентинов А. Чем живут звезды?//Загадки звездных островов. Кн. 1. М., 1982. С. 188—193 (Люди и космос).
Коротцев О. Загадка лунного кратера//Смена [газета]. 1983. № 292. 22 декабря. С. 2.
Перфилова О. А. Вечно юная Вселенная//Загадки звездных островов. Кн. 2. М., 1983. С. 239—249 (Люди и космос).
Куницын Г. Исследовать, а не отрицать!//Техника — молодежи. 1984. № 1. С. 52—53.
Лесков Л. В. Космические исследования и паранаука//Земля и Вселенная. 1984. № 1. С. 94.
Валентинов А. Парадоксы времени//Социалистическая индустрия. 1986. № 287. 14 декабря. С. 4.
Валентинов А. Маятник Вселенной?//Уральский следопыт. 1987. № 1. С. 15—19.
Мосин И. Гипотеза бессмертия//Смена [газета]. 1987. № 225. 1 октября. С. 2.
Линник Ю. В. В начале было время//Пробный камень: Фантастические рассказы и повести. Петрозаводск, 1988. С. 214—271.
Мирошников М. Беспокойная масса покоя//Техника — молодежи. 1988. № 1. С. 57—58.
[Слонимский М. Л.] Из архива Михаила Слонимского/Публикация И. И. Слонимской и А. И. Рубашкина//Нева. 1988. № 4. С. 178, 180.
Шкловский И. С. А все-таки она вертится!//Энергия. 1988. № 6. С. 41—44.
Шкловский И. С. Эшелон: Главы из рукописи//Химия и жизнь. 1989. № 2. С. 76—79.
Горелик Г. Два портрета//Нева. 1989. № 8. С. 169.
Любомудров М. Н. Все должно идти от жизни... [Вступительная статья]//Немирович-Данченко Вл. И. Рождение театра: Воспоминания, статьи, заметки, письма. М., 1989. С. 5.
Мартынов А. В. Исповедимый путь: Философские этюды. М., 1989. С. 50—56, 59, 65, 162.
Никитин В. Контакты и мифы//Природа и человек. 1989. № 6. С. 35.
Никитин В. Контакты и мифы//Комсомольское знамя [г. Киев]. 1989. № 159—160. 20 августа. С. 12—13.
Окатова И. Б. [Письмо в редакцию]//Химия и жизнь. 1989. № 9. С. 66.
Охапкин О. Стихи. Л.; Париж, 1989. С. 130.
Презент континиус [кинофильм]/Режиссер В. М. Кобрин. М.: Центрнаучфильм, 1989.
Солженицын А. И. Архипелаг ГУЛАГ. 1918—1956: Опыт художественного исследования. Часть первая: Тюремная промышленность. Гл. 12: Тюрзак//Новый мир. 1989. № 9. С. 163—165.
Никитин В. Река Вселенной//Природа и человек. 1990. № 2. С. 44—47.
Мартынов А. В. Версия профессора Козырева//Комсомольское знамя [г. Киев]. 1990. № 66. 6 апреля. С. 8; № 67—68. 8 апреля. С. 11.
Гневышев М. Н. По поводу «Эшелона»//Химия и жизнь. 1990. № 10. С. 41.
Гумилев Л. Н., Панченко А. М. Чтобы свеча не погасла: Диалог. Л., 1990. С. 95.
Зигель Ф. Ю. [Письмо]//Вестник «Выборгская сторона» (приложение) Л., 1990. № 2, 3. С. 2.
Охапкин О. Пылающая купина. Л., 1990. С. 55—56.
Сафонов В. И. Нить Ариадны. М., 1990. С. 138, 217.
Финогеев В. По ту сторону случайной смерти//Огонек. 1990. № 41. 6—13 октября. С. 31.
Зигуненко С. Н. Как устроена машина времени? М., 1991. С. 35—41 (Знак вопроса. № 5).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 5
А. Н. Дадаев. Николай Александрович Козырев 8

Часть 1. **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АСТРОФИЗИКА**

О массах газовых оболочек, выброшенных новыми звездами 49
Лучевое равновесие протяженной фотосферы 54
Источники звездной энергии и теория внутреннего строения звезд . . 71
Теория внутреннего строения звезд и источники звездной энергии . . 121
Возможная асимметрия в фигурах планет 155
О внутреннем строении больших планет 160
Особенности физического строения компонент двойных звезд 165
О связи тектонических процессов Земли и Луны 179
Природа звездной энергии на основе анализа наблюдательных данных 191

Часть 2. **НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ АСТРОНОМИЯ**

Люминесценция лунной поверхности и интенсивность корпускулярного излучения Солнца 205
О некоторых свойствах атмосферы Марса по спектрофотометрическим наблюдениям 1956 года 216
Вулканическая деятельность на Луне 221
Вулканизм на планетах 228

Часть 3. **ПРИЧИННАЯ МЕХАНИКА**

Причинная или несимметричная механика в линейном приближении 232
Причинная механика и возможность экспериментального исследования свойств времени 288
Неизведанный мир 313
Путь в космос 330
О возможности экспериментального исследования свойств времени 335
Астрономические наблюдения посредством физических свойств времени 363
Время и жизнь 384
О воздействии времени на вещество 385
О возможности уменьшения массы и веса тел под воздействием активных свойств времени 395
Человек и Природа 401

Л. С. Шихобалов. Причинная механика Н. А. Козырева: анализ основ 410
Список трудов Н. А. Козырева 432
Список публикаций о Н. А. Козыреве и его исследованиях 438